

Derleme (Review)

Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., 2023, 60 (2): 363-374
<https://doi.org/10.20289/zfdergi.1126540>

Mesut Yüce YILDIZ^{1*} 

Ela ATIŞ¹ 

¹Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi Bölümü

* Sorumlu yazar (Corresponding author):

mesut.yuce.yildiz@gmail.com

Yaşam döngüsü analizi: teorik çerçeve ve tarıma uygulanması*

Life cycle assessment: theoretical framework and its application to agriculture

Received (Alınış): 08.06.2022

Accepted (Kabul Tarihi): 07.09.2023

ÖZ

Yaşam Döngüsü Analizi son yıllarda sıklıkla kullanılan bir araştırma yöntemidir. İlk olarak çevresel etkileri değerlendirmek için kullanılan bu yöntem, sosyal ve ekonomik etkileri de kapsamına almıştır. Bu sayede Yaşam Döngüsü Analizi, bir ürüne dair kapsamlı bir sosyal, ekonomik ve çevresel analizi, yani bir ürünün üretiminden tüketilip geri dönüşümüne kadar bütün yönlerini içeren bir analizi olanaklı kılmaktadır. Yaşam Döngüsü Analizinin tarımsal araştırmalarda kullanımı ile klasik Yaşam Döngüsü Analizi arasında farklılıklar bulunmaktadır. Tarımsal üretim doğa koşullarına göre belirlenmekte, ürüne ve döneme göre farklılaşmaktadır. Bu yüzden tarıma yönelik yapılan bir YDA araştırmasının etki kategorilerinin ve işlevsel biriminin tarımsal koşullara uyarlanması gerekmektedir. Bu çalışmada Yaşam Döngüsü Analizinin ortak kavramsal çerçevesi ve tarıma uygulanışı ele alınmıştır. Yaşam Döngüsü Analizinin yöntemsel çerçevesi, çalışmalarda ortak bulunan yönleri ile incelenmiştir. Sosyal Yaşam Döngüsü Analizi de Çevresel Yaşam Döngüsü Analizinden yöntemsel farklılıkları ile araştırmaya dahil edilmiştir. Yöntem, tarımsal ürünlerde sürdürülebilir üretim ve tüketim stratejilerinin uygulanmasına katkıda bulunabilir. Bu yönüyle hem çevresel hem de sosyal boyutu içeren Yaşam Döngüsü Analizi çalışmalarının tarıma uygulanması, ilgili üretim sistemi ve/veya ürüne ilişkin karar vericilere ve politika yapıcılara, üretici ve tüketicilere çevresel etkileri hakkında geri bildirim sağlayacaktır.

ABSTRACT

Life Cycle Assessment is a research method that has been used frequently in recent years. This method, which was first used to assess environmental impacts, has expanded its scope in social and economic impacts. In this way, Life Cycle Assessment enables a comprehensive social, economic, and environmental analysis of a product, that is, an analysis that includes all aspects of a product from its production to consumption and recycling. Life Cycle Assessment in agricultural research has differences as compared to the classical Life Cycle Assessment. Agricultural production is determined according to natural conditions and differs according to the product and the period. Therefore, the impact categories and functional unit of a Life Cycle Assessment research on agriculture should be adapted to agricultural conditions. In this research, the common conceptual framework of Life Cycle Assessment and its application to agricultural production were examined. The methodological framework of Life Cycle Assessment was also included in the study with its methodological differences from Environmental Life Cycle Assessment. The method can contribute to the implementation of sustainable production and consumption strategies in agricultural products. In this respect, the application of Life Cycle Assessment studies to agriculture, which includes both environmental and social dimensions, will provide feedback on the environmental impacts of the relevant production system and/or product to decision makers and policy makers, producers and consumers.

Anahtar sözcükler: Çevresel yaşam döngüsü analizi, sosyal yaşam döngüsü analizi, tarımsal yaşam döngüsü analizi

Keywords: Agricultural life cycle assessment, environmental life cycle assessment, social life cycle assessment

GİRİŞ

Yaşam Döngüsü Analizi (YDA) ya da Çevresel Yaşam Döngüsü Analizi (ÇYDA) endüstriyel sistemleri “beşikten mezara” değerlendirmek için kullanılan bir yaklaşımdır. “Beşikten mezara” söylemi, bir ürünü oluşturmak için hammadde toplanması ile başlamakta ve tüm materyallerin toprağa döndüğü noktada bitmekte olduğunu ifade etmektedir. YDA, 1960'larda ve 70'lerde enerji analiziyle başlamış ve ürün veya sistemlerin çevre üzerindeki etkilerini belirlemek için kullanılan geniş kapsamlı bir araca dönüşmüştür. İlk zamanlarda yöntemsel olarak belirli bir standart bulunmamaktadır. Birbirinden çok farklı yaklaşım ve terminolojiyi içeren 1970-90 döneminde YDA araştırmaları, farklı yöntemler kullanılarak ve ortak bir teorik çerçeve olmadan gerçekleştirilmiştir. YDA, firmalar tarafından defalarca uygulanmış, elde edilen sonuçlar çalışmanın nesnelere aynı olduğunda bile büyük ölçüde farklılık göstermiştir. Bu durum, YDA'nın genel kabul gören ve uygulanan analitik bir araç olmasını engellemiştir.

YDA uygulamalarının sayısı 1990-2000 yılları arasında artmıştır. Bu artış, YDA metodolojisine dair belirli standartları gerektirmiştir. Çevresel Toksikoloji ve Kimya Derneği (Block et al., 2000), Kuzey Amerika ve Avrupa şubeleri aracılığıyla, YDA terminolojisinin ve metodolojisinin sürekli iyileştirilmesi ve uyumlaştırılması için çabalamıştır (Guinée et al., 2011). Bu çaba, YDA uygulayıcılarını, kullanıcılarını ve bilim insanlarını bir araya getirmede lider ve koordine edici bir rol oynamaya başlamıştır. SETAC'ın yanında, Uluslararası Standardizasyon Örgütü (ISO) 1994'te YDA'ya dahil olmuştur. SETAC, çalışma grupları yöntemlerinin geliştirilmesi ve uyumlaştırılmasına odaklanırken, ISO yöntemlerin ve prosedürlerin standartlaştırılması görevini benimsemiştir. Şu anda YDA için iki uluslararası standart bulunmaktadır (ISO, 2006). İlki, ISO 14040, Yaşam döngüsü Analizi (YDA) için ilkeleri ve çerçeveyi açıklamakta; ikincisi ISO 14044 ise Yaşam döngüsü Analizi (YDA) için gereksinimleri ve yönergeleri sağlamaktadır.

ISO, YDA için belirlediği standartlara rağmen yönetime dair belirli bir standardizasyon geliştirilmediğini, YDA'nın tek bir yöntemle ilişkili olamayacağını açıkça belirtmiştir (ISO, 2006). Bununla beraber, YDA metodolojisinin aşamaları araştırmalara göre farklılaşsa da metodolojik olarak daha belirgin hale gelmiştir. 2000'li yılların başından günümüze YDA metodolojisi, sadece çevresel etkileri ve ürün yaşam döngüsünü değerlendiren bir analiz olmaktan çıkmıştır. YDA kapsamına, Yaşam Döngüsü Maliyet Analizi (YDMA) ve Sosyal Yaşam Döngüsü Analizi (SYDA) eklenmiştir. Kısacası; daha bütüncül şekilde, Yaşam Döngüsü Sürdürülebilirlik Analizi (YDSA) olarak ele alınmaya başlamıştır (Heijungs et al., 2010):

Yaşam Döngüsü Sürdürülebilirlik Analizi (YDSA)= Çevresel YDA+YDMA+SYDA

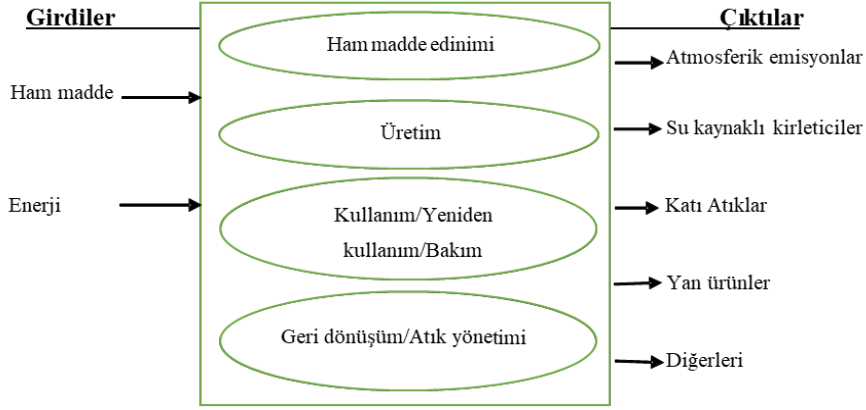
YDA yeni bir yöntem olmasına karşılık kısa sürede yöntemsel çerçevesi belirginleşmiş birçok araştırmada kullanılmıştır. Tarımda kullanımı yeni metodolojik gelişmeleri gerektirmesine rağmen, son 25 yılda çevresel etkileri ve tarımsal üretimin sürdürülebilirliğini değerlendirmek için YDA'nın uygulanmasına ilgi giderek artmıştır (Cowell & Clift, 1996; Mohamad et al., 2014). Avrupa Birliği (AB)'nin 2019'da, çevre ve sürdürülebilirlik konusunda önemli adımlar atacağını ifade eden yeni büyüme stratejisi Avrupa Yeşil Mutabakatının tarım için önemli unsurlarından birisi olan Tarladan Sofraya Stratejisi de AB'nin YDA yaklaşımına artan ilgisini ifade etmektedir.

Tarımsal üretim ve tarımsal hammadde sanayiine yönelik yapılan YDA araştırmaları üretimden tüketime kadar çevresel dışsallık oluşturan bütün süreçlerin etkilerinin hesaplanmasını sağlamıştır. Bunun yanında tarımsal üretimde sosyal süreçlerin ve insan etkinliğinin fazla olması SYDA'nın da kullanılmasına yol açmıştır.

Bu çalışmada YDA'nın teorik çerçevesi, tarıma uygulanışı ve uygulamadaki farklılıklar ele alınmıştır. YDA yöntemsel kapsamının çok geniş olması bu çalışmanın boyutlarını aşacağından, teorik olarak sadece araştırmalarda sıkça kullanılan ortak boyutları dikkate alınmıştır. YDA'nın teorik çerçevesi ÇYDA üzerinden değerlendirilmiş ve SYDA'yı kapsayan kısmı, ÇYDA ile ortaklaştığı ve farklılaştığı başlıklarda ele alınmıştır.

Yaşam Döngüsü Analizi: Teorik Çerçeve

ÇYDA'nın temel fikri, bir ürün veya hizmetle bağlantılı tüm çevresel yüklerin değerlendirilmesidir (Klöppfer, 1997). ÇYDA, geleneksel analizlerde (örneğin hammadde çıkarma, lojistik, ürünün yok olması vb.) dikkate alınmayan etkiler dahil olmak üzere, ürün yaşam döngüsünün tüm evrelerinden kaynaklanan kümülatif çevresel etkilerin tahminini sağlamaktadır. Bir ürünün yaşam döngüsü boyunca oluşan çevresel etkileri dahil ederek, ürünün veya sürecin çevresel yönleriyle ilgili kapsamlı bir görünüm sunmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Yaşam döngüsü analizinin evreleri (Curran, 2006).

Figure 1. Level of life cycle assessment.

YDA aslında araştırmalarda ÇYDA yerine ya da tam tersi şekilde kullanılabilir. Ancak bazı araştırmalarda YDA'nın kapsamı sosyal (SYDA), ekonomik (YDMA) ve çevresel (ÇYDA) olarak ayrılabilir. Bu makalede YDA metodolojisinin daha anlaşılır olmasını sağlayabilmek için YDA'yı hepsini kapsayacak şekilde tanımlama ihtiyacı duyulmuştur. ÇYDA'nın evrelerini daha detaylı şekilde tanımlayacak olursak; hammadde edinimi, doğadan bir hammadde elde etmek için gereken tüm faaliyetleri içerir. Üretim, enerji ve hammaddeleri ürüne dönüştürme faaliyetlerini kapsamaktadır. Kullanım/Yeniden Kullanım/Bakım, uygulanan teknolojinin işleyişi sırasında gerçekleştirilen tüm faaliyetleri kapsamaktadır. Son olarak, geri dönüşüm/atık yönetimi ise işlem sürecinden çıkan ekipman ve malzemenin son halini tanımlamaktadır (Curran, 2006).

Spesifik olarak, ÇYDA, bir ürün, süreç veya hizmetle ilgili çevresel yönleri ve potansiyel etkileri değerlendiren bir tekniktir (Curran, 2006). Bir ürün, süreç veya hizmetle ilgili enerji, materyal girdilerinin ve çevre emisyonlarının bir envanterinin çıkarılması, tanımlanan girdiler ve çevresel emisyonlar ile ilişkili olası çevresel etkilerin değerlendirilmesi ve karar vericilerin daha bilinçli bir karar vermelerine yardımcı olmak için sonuçların yorumlanmasıdır.

ÇYDA metodolojisi aşağıdaki aşamaları içermektedir (Curran, 2006; Demirer, 2011);

- Amaç ve Kapsam: Bu aşamada ÇYDA çalışmasının amacı, kapsamı, sınırları ve detaylandırma düzeyi tanımlanır.
- Envanter Analizi: Çalışılan sistemin kapsamı dahilinde gerçekleşecek enerji, su, ham madde kullanımı ve bunlara bağlı çevresel emisyonlar belirlenir.
- Etki Analizi: Envanter analizi aşamasında belirlenen enerji, su, ham madde kullanımı ile çevresel emisyonların insan sağlığı ve çevresel değerler üzerindeki olası etkileri değerlendirilir.
- Yorumlama: Envanter ve etki analizi aşamalarının sonuçları değerlendirilerek, tercih edilecek ürün, süreç ya da hizmet seçilir. Bu seçim esnasında yapılan tahminler ve var olan belirsizlikler ÇYDA kapsamında açık bir şekilde belirtilir.

Bu aşamalar, çalışma süresince oluşan yeni değişkenler ile birbirlerini sürekli olarak etkileyip tekrarlayabilmektedir.

YDA'nın uygulanabilmesi ve sisteme ait sınırların anlaşılabilmesi için kapsamlı bir akış şeması çıkarılmalıdır. YDA'da üç ana tip sistem sınırı kabul edilmektedir. Bunlar: teknik sistem ve çevre arasında, önemli ve önemsiz süreçler arasında ve araştırmaya dahil olan teknolojik sistem ile diğer teknolojik sistemler arasındadır (Finnveden et al., 2009). Sistem akış şemasının çıkarılması, tam bir süreç analizinin gerekliliği, ürün veya kullanılan malzemenin temeli, ürünleri oluşturma, paketlenme veya sürecin yürütmesi için hangi yardımcı malzemeler veya kimyasalların kullanılacağı, karşılaştırmalı bir analizde bir ürünün diğerine eşdeğer veya benzer performans sunmasını sağlamak için herhangi bir ekstra ürün gerekip gerekmediği vb. durumların analize dahil edilip edilmemesinin anlaşılmasını sağlamaktadır (Curran, 2006).

Sistem sınırlarını tanımlarken, analizin genel yorumunu veya var olan sorunları ele alma kabiliyetini etkileyebilecek her adımı dahil etmek önemlidir. Hammadde alımı veya atık yönetimi gibi yaşam döngüsü unsurları yalnızca belirli iyi tanımlanmış durumlarda hariç tutulabilir. Genel olarak, bir adımın süreç, malzeme ve miktar olarak dikkate alınan tüm alternatiflerde tamamen aynı olması durumunda, o adım sistemden çıkarılabilir (Curran, 2006). Sistem sınırlarını belirlerken analist, analizin nerede sınırlı olacağına karar vermeli ve kararın nedenleri konusunda çok net olmalıdır. 'Analizin ürünün tüm yaşam döngüsünü kapsamaması gerekiyor mu?', 'ürünün kullanım amacı ne olacak?', 'ürünler oluşturulurken, paketlenirken veya süreç esnasında hangi yardımcı malzemeler veya kimyasallar kullanılıyor?' vb. sisteme dair soruların sorulması, o sisteme dair koyulan sınırların netleşmesini sağlamaktadır.

Sistem akış şeması ne kadar karmaşıkça, sonuçların doğruluğu ve faydası o kadar fazladır (Curran, 2006). Artan karmaşıklık, veri toplama ve analiz etme adımlarının yanı sıra bu adıma daha fazla zaman ve kaynak ayrılması gerektiği anlamına gelmektedir. Akış diyagramları, incelenen tüm alternatifleri modellemek için kullanılır (hem temel sistem hem de alternatif sistemler). Temel ve alternatif sistemlerin aynı sistem sınırlarını kullanması ve aynı ayrıntı düzeyinde modellenmesi karşılaştırmalı bir çalışma için önemlidir. Aksi takdirde, sonuçların doğruluğu çarpık olabilmektedir.

Geliştirilen sistem akış şeması ilk olarak toplanacak veriler için yol haritası sağlamaktadır. Veri toplama aşamasında veriler, saha ziyaretleri ve uzmanlarla doğrudan iletişim sonucu elde edilen verilerin birleşiminden oluşmaktadır (Curran, 2006). Bu akış şeması gerekli verilerin kaynağını, türünü, kalitesini, doğruluğunu ve toplama yöntemini belirtmektedir. Akış şemasını oluşturmak ve çalışmaya dair sayısal verileri bulmak önemlidir. Verileri bulmak kolay olmayabilir, hatta bazı verilerin elde edilmesi zor veya imkânsız olabilir. Bunun ötesinde mevcut verilerin ihtiyaç duyulan işlevsel birime dönüştürülmesinde güçlükle karşılaşılabılır. Bu nedenle, çalışmanın sistem sınırlarının veya veri kalitesi hedeflerinin, veri kullanılabilirliğine dayalı olarak sadeleştirilmesi gerekebilir. Bu süreç çoğu YDA çalışması için geçerlidir.

Bir ürüne dair çevresel etki değerlendirmesi yapmak için, o ürünün üretim sürecinde kullanılan envanter verilerinin (enerji, hammadde, hava emisyonları, su emisyonları katı atık, lojistik vs.) analizine ihtiyaç duyulmaktadır. Envanter analizi, ürüne dair sürecin çıktıları, girdileri, sınırları ve sisteme dahil edilen bütün varsayımları açıkça gösteren bir rapor olmalıdır. Detaylı bir envanter verisi analiz raporu, ilgili süreç boyunca oluşan olası etkilerin (çevresel salınımlar, doğal kaynakların tüketimi ve insan sağlığına etkisi) değerlendirilmesini ve doğruluğunu sağlamaktadır (Demirer, 2011).

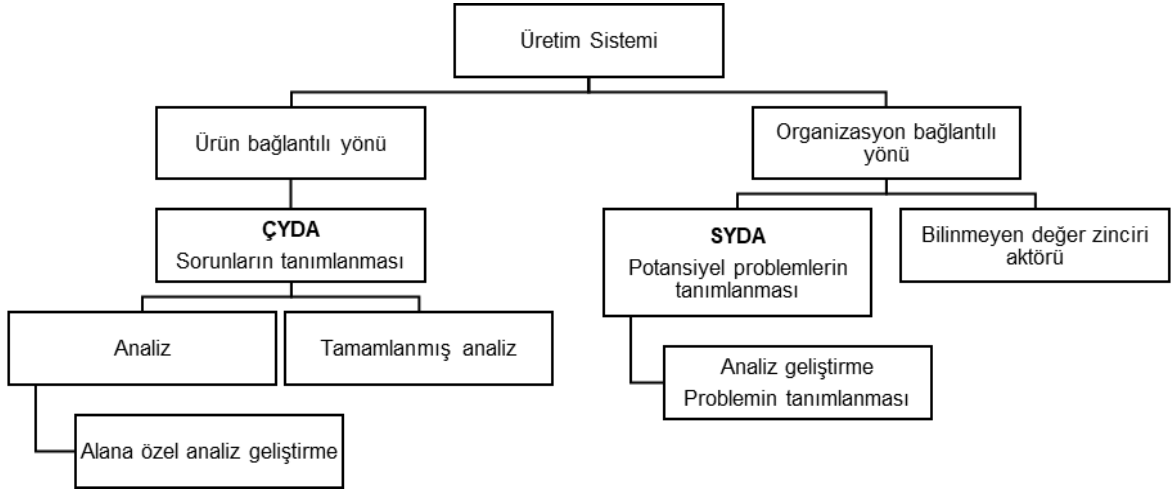
Bir sonraki safha Yaşam Döngüsü Etki Analizidir (YDEA). YDEA birçok önemli aşamadan oluşmaktadır; etki kategorilerinin seçilmesi ve tanımlanması, sınıflandırma, karakterizasyon, normalizasyon, gruplandırma, ağırlıklandırma ve son olarak sonuçların değerlendirilip raporlanmasıdır (Curran, 2006). Yaşam döngüsü envanter verileri dikkate alınarak bir süreç hakkında çok şey öğrenilebilse de YDEA karşılaştırma yapmak için anlamlı bir temel sağlamaktadır. Örneğin, atmosfere salınan 9.000 ton karbondioksit ve 5.000 ton metanın her ikisinin de zararlı olduğunu bildiğimiz halde, hangisinin daha büyük bir potansiyel etkiye sahip olabileceğini bir YDEA ile belirleyebiliriz. Bir YDEA ile bilimsel karakterizasyon faktörlerini kullanarak, bir sürecin çevresel salınım veya küresel ısınma gibi sorunlar üzerindeki etkileri hesaplanabilir (Curran, 2006; Demirer, 2011).

Son aşama, YDE (Yaşam Döngüsü Etki Analizi) ve YDEA aşamalarında elde edilen sonuçların yorumlanmasıdır. YDA sonuçları ISO standartlarına uygun şekilde yorumlanmaktadır. Yorumlamalar envanter ve etki analizi ile bağlantılı olarak yapılmaktadır. Yapılan çalışmanın eksiksiz olarak gerçekleştirilmesi, hipotezler ile sonuçların tutarlı olması, sonuçların açık bir dille anlatılması ve her aşamada genel değerlendirme yapılması yorumlamanın doğru olmasını sağlayacaktır (Curran, 2006; Demirer, 2011).

YDA'nın çevresel metodolojisine sosyal ve ekonomik analizin entegre edilmesi bir yaşam döngüsünün potansiyel etkilerinin daha kapsamlı ve anlaşılır olmasını sağlamaktadır (O'Brien et al., 1996). Sosyal yaşam döngüsü analizi (SYDA), ürünlerin sosyo-ekonomik yönlerini ve bunların yaşam döngüsünü kapsayan potansiyel olumlu ve olumsuz etkilerini değerlendirmeyi amaçlayan bir sosyal etki değerlendirme tekniğidir (hammadelerin çıkarılması ve işlenmesi, imalatı, dağıtımı, kullanımı, yeniden kullanımı, bakımı, geri dönüşüm vb.). SYDA, ÇYDA'yı sosyo-ekonomik yönüyle tamamlamaktadır (Jørgensen et al., 2008). SYDA, kendi başına veya ÇYDA ile birlikte uygulanabilmektedir.

SYDA ve ÇYDA'da yöntemsel olarak birçok ortak nokta bulunmaktadır. ÇYDA'nın metodolojisini oluşturan evreler (amaç, kapsam, envanter analizi ve etki analizi) farklılıklar olmasına rağmen SYDA için de aynıdır (Falque et al., 2013). İki yöntemin de uygulanabilmesi için veriye büyük ihtiyaç duyulmaktadır. SYDA'da metodolojiyi oluşturan aşamalar ÇYDA'da olduğu gibi tekrarlanan bir prosedür izlemektedir. İki yöntem de bir ürünün üretiminin gerekli olup olmadığı hakkında bilgi sağlama amacına sahip değildir. Veri kalitesinin değerlendirilmesi iki yöntem için de önemlidir. Genelde etkiler yarı kantitatif veya kalitatif veriler kullanılarak ifade edilir.

ÇYDA ve SYDA arasındaki en belirgin fark odak noktasıdır. İki çevresel etkilerin değerlendirilmesiyle ilgilenirken, ikincisi sosyal ve sosyo-ekonomik etkileri değerlendirmeyi amaçlamaktadır. ÇYDA temel olarak ürünle ilgili fiziksel miktarlar hakkında bilgi toplamaya (üretim, kullanım ve imha) odaklanırken, SYDA değer zinciri boyunca organizasyonla ilgili konular hakkında ek bilgiler toplamaktadır (Şekil 2.).



Şekil 2. Üretim sisteminin çift yönlü analizi (Andrews, 2009).

Figure 2. Two-way analysis of the production system.

ÇYDA ve SYDA aynı metodolojik aşamalara sahip olmasına rağmen, araştırma yöntemleri açısından farklı tanımlara sahiptir.

Amaç ve Kapsam: Ürün programının hem ÇYDA'da hem de SYDA'da işlevsel terimlerle tarif edilmesi gerekir. SYDA, ürün kullanım aşaması ve işlevinin sosyal etkilerini de göz önünde bulundurmaktadır. SYDA'da bir kategori çalışmaya dahil edilmediğinde gerekçenin sunulması gerekmektedir. Kategoriler hem

paydaş kategorilerine (işçiler, yerel topluluk, toplum, tüketiciler, değer zinciri aktörleri) hem de SYDA etki kategorilerine (insan hakları, çalışma koşulları, sağlık ve güvenlik vs.) göre sınıflandırılır. ÇYDA'da bu bir gereklilik değildir. ÇYDA'da yalnızca etki kategorilerine göre sınıflandırılır. Hem ÇYDA hem de SYDA'da etki değerlendirme yöntemleri bölgeye duyarlı olmasına rağmen, hiçbir ÇYDA yöntemi doğrudan olarak sahaya özgü değildir. ÇYDA yöntemleri genellikle coğrafya gibi fiziksel faktörlere bağlı konum veya nüfus yoğunluğu kategorilerini tanımlar ve kullanır. SYDA ise bazı durumlarda sahaya özel uygulanabilir, ayrıca ülke yasaları gibi politik konular hakkında da bilgiye ihtiyaç duyabilmektedir.

Envanter analizi: Faaliyet verileri SYDA' da ÇYDA' da olduğundan daha sık toplanır ve kullanılır (örneğin, her birim işlemin ürün sistemindeki payını tahmin etmek için çalışma saatleri). ÇYDA' da etkilerle ilgili veriler mevcut olmadığında faaliyet verileri kullanılmaktadır. Özne veriler (paydaşlardan alınan veriler vb.) bazen SYDA' da kullanılacak en uygun bilgidir. Özne verileri daha "nesnel" veriler lehine atlamak, SYDA sonuçlarında daha fazla belirsizlik oluşturmaktadır. Kısacası, iki yöntemin nicel, nitel ve yarı nicel verileri arasındaki denge, genellikle farklıdır. SYDA'da araştırmaya katılan paydaşlardan veri toplanmaktadır. ÇYDA etki kategorileri için farklı araştırmalardan gerekli ortak verileri kullanabilir. ÇYDA kendi başına işletme düzeyinde verilerle çalışmaz, ancak işletmeler belirli emisyon faktörleri üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. ÇYDA, belirlenmiş verilerle ve işlemlerle çalışmaktadır. Bu bilgiyi bir sisteme, yani ürün yaşam döngüsüne göre raporlamaktadır. ÇYDA 'nın aksine, SYDA işgücü uygulamaları gibi işletme düzeyinde rapor edilen verileri kullanabilmektedir.

Etki analizi: SYDA ve ÇYDA'nın etki tanımlama modelleri birbirinden farklıdır. SYDA'da, ürün yaşam döngüsünün hem olumlu hem de olumsuz etkileri bulunmaktadır. ÇYDA'da nadiren olumlu etkiler ile karşılaşılmaktadır.

Yorumlama: ÇYDA'da belli çevresel standartlar üzerinden yorumlama gerçekleştirilirken, SYDA' da benzer olarak sosyal indeksler yardımıyla yorumlama yapılır. Ancak SYDA'da ek olarak paydaşların katılım düzeyi hakkında bilgi eklenmesi gerekmektedir.

Görüldüğü gibi ÇYDA ve SYDA arasında benzerlikler olsa da veri toplama, analiz ve yorumlamada önemli farklılıkları da söz konusudur. Ancak bu iki analizin birbirini tamamladığı ve birlikte kullanıldığında Yaşam Döngüsü Analizi'nin çok daha somut sonuçlar vereceği belirtilmelidir.

Yaşam Döngüsü Analizinin Tarıma Uygulanması

Tarımın rekabetçi olması, yeterli miktarda yüksek kaliteli gıda üretmesi ve çevreye duyarlı olması beklenmektedir. Ancak, tarımsal üretim sistemleri çok çeşitli çevresel etkilere katkıda bulunur. Tarımdan beklenen, sınırlı kaynakların sınırları içinde artan gıda, lif, yem ve biyoyakıt ürünlerini üretmesi ve buna bağlı çevresel etkileri azaltmasıdır. Tarımsal üretim sistemlerinin çevresel etkisini değerlendirmek için kullanılan yöntemlerden birisi YDA'dır.

Başlangıçta endüstriyel işlemler için geliştirilen YDA metodolojisi, daha sonra tarım da dahil olmak üzere daha geniş bir alana yayılmıştır. YDA, tarım ürünlerinin üretiminin neden olduğu kaynak tükenmesi sorunlarını ve çevresel ve sağlık etkilerini değerlendirmek için kullanılan bir yöntemdir. YDA'nın temel ilkesi, bir ürünü yaşam döngüsü boyunca takip ederek ürün sistemi ile çevresi arasında bir sınır tanımlamaktır. Bu sınırı aşan enerji ve malzeme akışları, sistemin girdileri (örneğin kaynaklar) ve çıktıları (örneğin su ve havaya emisyonlar) ile ilgilidir.

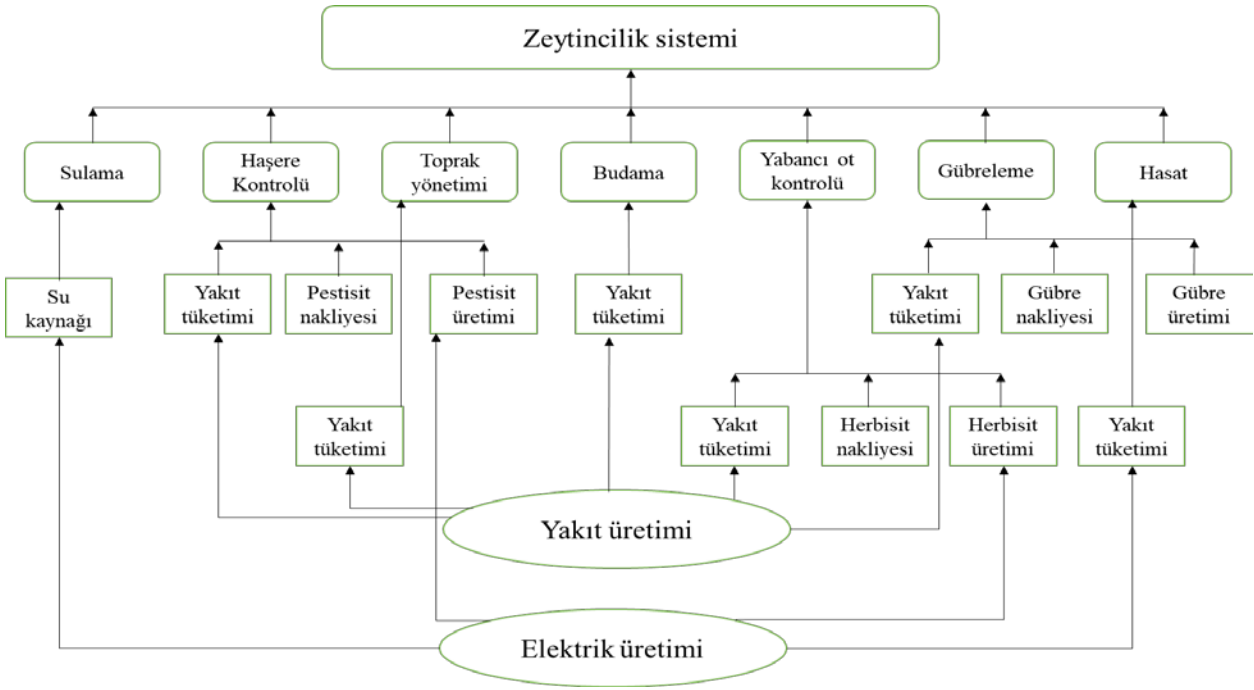
Tarım sistemlerinin değerlendirilmesinde YDA'yı kullanan çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu metodoloji, tek bir tarımsal ürün için kullanılabildiği gibi, organik ve konvansiyonel tarım gibi alternatif sistemlerin çevresel etkilerini karşılaştırmak için kullanımına da çok rastlanmaktadır (Linderholm et al., 2012; Ruviano et al., 2012; Torrellas et al., 2012; Hayashi, 2013; Kulak et al., 2013; Mohammad et al.,

2014; Keyes et al., 2015; Meier et al., 2015; Foteinis & Chatzisyneon, 2018; Tricase et al., 2018; Alam et al., 2019; Boone et al., 2019; Habibi et al., 2019; Pishgar-Komleh et al., 2019; Colley et al., 2020; Ghasemi-Mobtaker et al., 2020; Trinh et al., 2020; Tsangas et al., 2020; Lyu et al., 2021; Varela-Ortega et al., 2021; Borghesi et al., 2022; Del Borghi et al., 2022). Bununla beraber son yıllarda tarımsal ürünlerin sosyal (Macombe et al., 2013; Hosseinijou et al., 2014; Yıldırım, 2014; Prasara-A & Gheewala, 2019; Senthil Kumar & Yaashikaa, 2019; Zira et al., 2020) ve ekonomik yönünü kapsayan (Baquero et al., 2011; Martínez-Blanco et al., 2014; Ren et al., 2015; Florindo et al., 2017; Lips, 2017; Bosona et al., 2019; Holka & Bieńkowski, 2020; Canaj et al., 2021) YDA çalışmalarının sayısı da giderek artmaktadır.

Bu çalışmalardan da anlaşıldığı gibi, etki kategorileri ve klasik YDA'ların işlevsel birimi, tarımsal üretim sürecine uyarlanmalı ve dönüştürülmelidir (Haas et al., 2000). Tarımsal YDA klasik YDA'da olduğu gibi açık şekilde beşikten mezara süreci değildir. Çünkü herhangi bir tarım sistemindeki yaşam döngüsü yenilenebilir kaynaklara dayalı olarak doğanın süreçlerini kullanmaktadır. Kısacası sanayi üretiminin tersine, girdilerin ve çıktılarının etkisi tarımsal üretimde büyük değişiklikler gösterebilmektedir. Bu da etki kategorilerinin farklılaşmasını sağlayabilmektedir. Klasik YDA'larda, arazi kullanımı, atık ve foto-oksitanlar esas olarak kabul edilen etki kategorileridir (Klöpffer & Renner, 1994), ancak bunlar genellikle tarımsal YDA'lar için uygun değildir (Haas et al., 2000). Çünkü bu kategoriler tarımın çevresel etkileri olarak işlev görmeyebilir. Tarımsal ekosistemlerdeki yaban hayatı, peyzaj ve biyolojik çeşitlilik, tarımsal üretim sürecinin türüne ve yoğunluğuna büyük ölçüde bağlıdır. Bu durum, tarımsal YDA'larda seçilen işlevsel birime göre farklılaşan etki kategorileri ile temsil edilmelidir. Örnek olarak; sadece organik tarım üretimini kapsayan bir YDA araştırmasında, üretimde pestisit kullanımının küresel ısınma ve insan sağlığı etki kategorisi üzerinden belirlenmesi anlamsız olacaktır (Meier et al., 2015). Ya da farklı iki işletmede aynı ürünün verimleri arasında oluşan farklılık sistem akış şemasının ve çevresel etki kategorilerinin ciddi ölçüde farklılaşmasına neden olabilecektir.

Benzer şekilde tarımsal üretim için SYDA açısından da farklılıklar olmaktadır. SYDA analizlerinde paydaşlar ve onlardan alınan veriler önemli yer tutmaktadır. Klasik bir SYDA analizinde paydaşlar işçiler, yerel topluluk, toplum, tüketiciler ve değer zinciri aktörlerini kapsamaktadır. Oysa tarımsal bir SYDA, çiftlik sahipleri, lojistik firmalar, yerel halk, mevsimlik işçiler gibi birçok farklı paydaştan oluşabilmektedir (Yıldırım, 2014). Aslında SYDA'nın yönetsel çerçevesi tarıma uygulanması açısından yeterli esnekliği sağlamaktadır. Ancak tarımsal üretime uyarlamak kimi zaman zorluklara neden olabilmektedir. Örneğin çalışan kategorisi çoğunlukla aile üyelerinden ve mevsimlik işçilerden oluşabilmekte, ya da sosyal göstergeler, görüşülen paydaşlar için o kadar net olmayabilmektedir (çalışma saatleri gibi). Bu yüzden sosyal etki kategorilerini yeniden tarıma uyarlamak gerekebilmektedir. Bunun dışında SYDA'da sistem akış şeması ve bu süreçlerin içerisinde farklılaşmalar meydana gelebilir. Toprak işleme, sulama, gübreleme, hasat vs. gibi süreçlerde çalışma saatleri veya ücret farklılıkları oluşabilmektedir (Prasara-A & Gheewala, 2019). Bu nedenle süreçlerin bireylere göre farklı sosyal etki kategorilerine ihtiyaç duyulabilir. Kısacası tarımsal SYDA'ya dair paydaşlar ve etki kategorileri belirlenirken ürüne dair bir ön çalışma yapılmasına ihtiyaç vardır. Yine de oluşabilecek sorunlar için paydaşların ya da etki kategorilerinin değişimi gerekebilir.

Tarımsal YDA'da üretime dair oluşturulan akış şeması ve sistem sınırlarını belirlemek hem sosyal hem de çevresel analiz için önemli rol oynamaktadır. Çevresel analiz için sistem akış şemasında belirlenen tarımsal uygulamalar, ürün sürecindeki çevresel yüklere dair toplanması gereken verileri ve sistem sınırlarını göstermektedir. Örneğin, organik ve konvansiyonel zeytin üretim sistemleri arasındaki çevresel etki ve ekonomik performansı karşılaştırmayı amaçlayan bir çalışmada (Mohamad et al., 2014), YDA veri tabanları Şekil 3'teki tarımsal işlemlere uygun olarak ele alınmıştır.



Şekil 3. Zeytin üretimi sistem akış şeması (Mohamad et al., 2014).

Figure 3. Olive production system flow chart.

Sistem akış şeması, bir ürünün üretimi için gereken girdi miktarlarının belirlenmesini sağlamaktadır. Kullanılan girdi miktarları, her bir tarımsal uygulama için ayrıca hesaplanmalıdır. Örnek olarak yakıt tüketimi girdi olarak sulamada farklı bir değer oluştururken, toprak yönetimi için farklı olabilir. Bunun dışında üretimde farklılaşan dönemler veya evreler söz konusuysa girdi değerlerinin belirlenen dönemlere veya evrelere göre alınması gerekmektedir. Daha yeni ekilen bir fidan ya da meyve vermekte olan bir ağaç için gübreleme, sulama, haşere kontrolü vb. tarımsal uygulamalar birbirinden büyük ölçüde farklılık gösterecektir (Mohamad et al., 2014).

Sistem akış şeması çerçevesinde toplanan veriler, birim ürün başına (kg, adet, litre vb.) dönüştürülmelidir. Tarımsal uygulama girdi verileri, YDA veri tabanında (Simapro) bulunan etki kategorilerine göre sınıflandırılmalıdır (Goedkoop et al., 2014). Verilerin çevresel kategorilere olan etkisi, tarımsal araştırmanın hipotezini karşılayacak şekilde seçilmelidir. Gübreleme, budama hasat vb. süreçlerin insan sağlığı, çevre ya da ekosistem üzerindeki etkisi YDA'nın sunduğu veri tabanı ile hesaplanabilmektedir. Ancak tarımsal uygulamalarda kimi zaman veri tabanında olmayan girdiler olabilmektedir. Eğer toprak bozulması ya da su kirliliği gibi çevresel dışsallıkların verilerine ulaşılamıyorsa, buna dair analizlerin bir laboratuvarında yapılması ve verinin el ile veri tabanına girişi gerekebilecektir (Mohamad et al., 2014).

Benzer şekilde SYDA'da sistem akış şeması, tarımsal üretimde seçilen paydaşların verilerine ulaşmada ve analizin yapılabilmesinde önemli rol oynamaktadır. Veriler çoğunlukla seçilen paydaşlardan anket yardımı ile yüz yüze alınmaktadır (Andrews, 2009). Alınan veriler sistem akış şemasında tarımsal üretimin farklı evrelerine (budama, hasat, sulama vs.) göre değerlendirilebilir. Ancak üretime dair kapsamlı bir sonuç sunabilmek için sosyal etki kategorileri (insan hakları, sağlık, güvenlik vb.) ve alt kategoriler (şeffaflık, kültürel miras, adil maaş vb.) için uygun verilerin alınması gerekmektedir.

Tarımsal SYDA'nın sonuçları, paydaş verileri ile ulusal ya da uluslararası indekslerin karşılaştırılmasının beraber yorumlanması ile ortaya çıkmaktadır. Örnek olarak yerelde çalışanların ya da

mevsimlik işçilerin adil ücret alıp almadığı, o bölgenin işçi ücretleri indeksleri ve paydaşlardan alınan veriler ile mukayese edilerek bulunabilir (Falque et al., 2013). Bu aynı zamanda farklı sosyal etki kategorilerinin yorumlanması için de kullanılabilir. Kadınların erkekler ile aynı ücreti almadığı ya da çalışma yaşının altında çocuk işçilerin varlığı ortaya çıkabilir (Falque et al., 2013). Bunun dışında değer zincirini oluşturan aktörler arasında tarımsal ürün açısından ciddi fiyat farklılıklarının oluştuğunu gösterebilir. Sadece ekonomik yönden değil, sosyal yönden de oluşan etkilerin sonuçlarını ortaya çıkarabilir.

SONUÇ

Tarım ürünlerine yönelik bir YDA çalışması yapmanın zorluklarından birisi yönetim uygulamalarında küresel, bölgesel ve yerel olarak farklılıkların olmasıdır. Bir ülkeden diğerine, bir toprak tipinden başkasına, bir iklim koşulundan diğerine hiçbir şeyin aynı olmadığı ve her şeyden önce, geri dönüşüm sürecine çok az ilgi duyulan alanlardaki tarım ürünleri için uygulama daha da zordur. YDA'nın sosyal ve çevresel analiz olarak tarıma uygulanışı çeşitli farklılıklar barındırır da yöntemin esnekliği sayesinde başarılı bir şekilde tarımda kullanılabilir. Tarımsal üretimi içeren YDA araştırmalarının giderek artması da bunu ispatlamaktadır.

YDA, sadece çevresel analiz olma sürecinden çıkmış, bir ürüne ve sürece dair sosyo-ekonomik boyutu da içeren bütüncül bir analiz süreci olmuştur. YDA'nın bütüncül perspektifi, bir ürüne dair kapsamlı bir araştırma yapılabilmesinin yanında, tarımsal araştırmalarda disiplinler arası bir bağın da bütüncül şekilde ele alınmasını sağlamıştır. Bir tarımsal ürünün beşikten mezara tarımsal uygulamaları, ticareti, sosyal ilişkileri gibi süreçlerde çevresel, sosyal ve ekonomik kategorilerinin belirlenmesi, tarıma dair geliştirilen bir politika için kapsamlı bir öngörü sunacaktır. YDA araştırmaları, değer zincirinin bütün paydaşlarını içinde barındırmakta, mevcut durum, sorunlar ve yapılabilecekler için geniş bir bakış açısı sunmaktadır. Yöntemsel olarak değişken olması uygulama açısından belli dezavantajlar yaratsa da aynı zamanda yöntemin kapsayıcılığını artırma ve sınırları genişletmede avantajlar sağlamaktadır.

Tarım sektörünün bir yandan ürün verim ve kalitesini artırması, diğer yandan ise sektörde maliyetlerin düşmesi ve piyasa değişikliklerine cevap vermesi beklenmektedir. Yaşam Döngüsü Analizi, tarımsal ürünlerin tedarik zinciri boyunca enerji ve çevresel etkilerini azaltmayı amaçlayan, çevresel ve sosyo-ekonomik sürdürülebilirliği sağlayan çalışmaların geliştirilmesini destekleyebilir ve sürdürülebilir üretim ve tüketim stratejilerinin uygulanmasına katkıda bulunabilir. Bu yönüyle, hem çevresel hem de sosyal boyutu içeren YDA çalışmalarının tarımsal üretim sisteminde daha yoğun kullanılması, ilgili üretim sistemi ve/veya ürüne ilişkin karar vericilere ve politika yapıcılara, üretici ve tüketicilere çevresel etkileri hakkında geri bildirim sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Alam, M. K., R. W. Bell & W. K. Biswas, 2019. Increases in soil sequestered carbon under conservation agriculture cropping decrease the estimated greenhouse gas emissions of wetland rice using life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 224: 72-87. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.03.215>
- Andrews, E. S., 2009. Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products: Social and Socio-Economic LCA Guidelines Complementing Environmental LCA and Life Cycle Costing. Contributing to the Full Assessment of Goods and Services within the Context of Sustainable Development. UNEP/Earthprint, 47 pp.
- Baquero, G., B. Esteban, J. R. Riba, A. Rius & R. Puig, 2011. An evaluation of the life cycle cost of rapeseed oil as a straight vegetable oil fuel to replace petroleum diesel in agriculture. *Biomass and Bioenergy*, 35 (8): 3687-3697. <https://doi.org/10.1016/J.BIOMBIOE.2011.05.028>
- Block, D. S., M. Slattery, W. H. Benson & J. C. Allgood, 2000. "Environmental sciences in the 21st Century: paradigms, opportunities, and challenges, 72-80". SETAC 21st Annual Meeting (12-16 November 2000), Nashville, Tennessee. Society of Environmental Toxicology and Chemistry, 180 pp.
- Boone, L., I. Roldán-Ruiz, V. Van Linden, H. Muylle & J. Dewulf, 2019. Environmental sustainability of conventional and organic farming: Accounting for ecosystem services in life cycle assessment. *Science of The Total Environment*, 695: 1-10. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2019.133841>

- Borghesi, G., R. Stefanini & G. Vignali, 2022. Life cycle assessment of packaged organic dairy product: A comparison of different methods for the environmental assessment of alternative scenarios. *Journal of Food Engineering*, 318: 1-10. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2021.110902>
- Borzęcka, M., K. Żyłowska, G. Russo, A. Pisanelli & F. Freire, 2018. "Life cycle assessment of olive cultivation in Italy: comparison of three management systems, 1-7". 167th EAAE Seminar; European Agriculture and the Transition to Bioeconomy, 7 pp. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.281566>
- Bosona, T., G. Gebresenbet & A. Dyjakon, 2019. Implementing life cycle cost analysis methodology for evaluating agricultural pruning to energy initiatives. *Bioresource Technology Reports*, 6: 54-62. <https://doi.org/10.1016/J.BITEB.2019.02.006>
- Canaj, K., D. Morrone, R. Roma, F. Boari, V. Cantore & M. Todorovic, 2021. Reclaimed water for vineyard irrigation in a mediterranean context: Life cycle environmental impacts, life cycle costs, and eco-efficiency. *Water* 2021, 13 (16): 22-42. <https://doi.org/10.3390/W13162242>
- Colley, T. A., S. I. Olsen, M. Birkved & M. Z. Hauschild, 2020. Delta life cycle assessment of regenerative agriculture in a sheep farming system. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 16 (2): 282-290. <https://doi.org/10.1002/IEAM.4238>
- Curran, M. A., 2006. Life Cycle Assessment: Principles and Practice. National Risk Management Research Laboratory Office of Research and Development: U.S. Environmental Protection Agency, 80 pp.
- Del Borghi, A., V. Tacchino, L. Moreschi, A. Matarazzo, M. Gallo & D. Arellano Vazquez, 2022. Environmental assessment of vegetable crops towards the water-energy-food nexus: A combination of precision agriculture and life cycle assessment. *Ecological Indicators*, 140: 1-15. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2022.109015>
- Demirer, G., 2011. Yaşam Döngüsü Analizi (LCA) Ve Uygulama Örnekleri Çevre Alanında Kapasite Geliştirme Projesi Entegre Ürün Politikaları ve Sürdürülebilir Kaynak Yönetimi Bölgesel Çevre Merkezi, REC Türkiye REW, İstanbul 2011, 40 s.
- Falque, A., P. Feschet, M. Garrabé, C. Gillet, V. Lagarde, D. Loeillet & C. Macombe, 2013. Social LCAs; Socio-Economic Effects in Value Chains (Ed. Catherine Macombe), The Market News Service of CIRAD, Paris, 171 pp.
- Finnveden, G., M. Z. Hauschild, T. Ekvall, J. Guinée, R. Heijungs, S. Hellweg, A. Koehler, D. Pennington & S. Suh, 2009. Recent developments in life cycle assessment. *Journal of Environmental Management*, 91 (1): 1-21. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.06.018>
- Florindo, T. J., G. I. B. de Medeiros Florindo, E. Talamini, J. S. da Costa & C. F. Ruviaro, 2017. Carbon footprint and life cycle costing of beef cattle in the Brazilian midwest. *Journal of Cleaner Production*, 147: 119-129. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2017.01.021>
- Foteinis, S. & E. Chatzisyneon, 2015. Life cycle assessment of organic versus conventional agriculture. A case study of lettuce cultivation in Greece. *Journal of Cleaner Production*, 112 (2016): 2462-2471. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.075>
- Ghasemi-Mobtaker, H., A. Kaab & S. Rafiee, 2020. Application of life cycle analysis to assess environmental sustainability of wheat cultivation in the west of Iran. *Energy*, 193: 1-10. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2019.116768>
- Goedkoop, M., M. Oele, M. Vieira, J. Leijting, T. Ponsioen & E. Meijer, 2014. SimaPro Tutorial Title: SimaPro Tutorial. (Web sayfası: <https://pre-sustainability.com/legacy/download/SimaPro8Tutorial.pdf>) (Erişim tarihi: Nisan 2022)
- Guinée, J. B., R. Heijungs, G. Huppes, A. Zamagni, P. Masoni, R. Buonamici, T. Ekvall & T. Rydberg, 2011. Life cycle assessment: Past, present, and future. *Environmental Science and Technology*, 45 (1): 90-96. <https://doi.org/10.1021/es101316v>
- Haas, G., F. Wetterich & U. Geier, 2000. Life cycle assessment framework in agriculture on the farm level. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 5 (6): 345-348. <http://dx.doi.org/10.1065/lca2000.11.038>
- Habibi, E., Y. Niknejad, H. Fallah, S. Dastan & D. B. Tari, 2019. Life cycle assessment of rice production systems in different paddy field size levels in north of Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191 (4): 1-23. <https://doi.org/10.1007/S10661-019-7344-0/FIGURES/6>
- Hayashi, K., 2013. Practical recommendations for supporting agricultural decisions through life cycle assessment based on two alternative views of crop production: The example of organic conversion. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 18 (2): 331-339. <https://doi.org/10.1007/s11367-012-0493-9>

- Heijungs, R., G. Huppes & J. B. Guinée, 2010. Life cycle assessment and sustainability analysis of products, materials and technologies: Toward a scientific framework for sustainability life cycle analysis. *Polymer Degradation and Stability*, 95 (3): 422-428. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2009.11.010>
- Holka, M. & J. Bieńkowski, 2020. Carbon footprint and life-cycle costs of maize production in conventional and non-inversion tillage systems. *Agronomy*, 10 (1877): 1-13. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY10121877>
- Hosseinijou, S. A., S. Mansour & M. A. Shirazi, 2014. Social life cycle assessment for material selection: A case study of building materials. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 19 (3): 620-645. <https://doi.org/10.1007/s11367-013-0658-1>
- ISO, 2006. Environmental management-Life cycle assessment-Principles and framework. (Web sayfası: <https://www.iso.org/standard/37456.html>) (Erişim tarihi: Nisan 2022)
- Jørgensen, A., A. le Bocq, L. Nazarkina & M. Hauschild, 2008. Methodologies for social life cycle assessment. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 13 (2): 96-103. <https://doi.org/10.1065/lca2007.11.367>
- Keyes, S., P. Tyedmers & K. Beazley, 2015. Evaluating the environmental impacts of conventional and organic apple production in Nova Scotia, Canada, through life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 104: 40-51. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2015.05.037>
- Klöpffer, W. & I. Renner, 1994. Methodology of Impact Assessment within the Framework of Life-Cycle-Assessment Taking into Account Environmental Categories which cannot (or Only with Difficulty) Be Quantified. *Texte*, 80 pp.
- Klöpffer, W., 1997. Life cycle assessment. *Environmental Science and Pollution Research*, 4: 223-228. <https://doi.org/10.1007/BF02986351>
- Kulak, M., A. Graves & J. Chatterton, 2013. Reducing greenhouse gas emissions with urban agriculture: A Life Cycle Assessment perspective. *Landscape and Urban Planning*, 111 (1): 68-78. <https://doi.org/10.1016/J.LANDURBPLAN.2012.11.007>
- Linderholm, K., A. M. Tillman & J. E. Mattsson, 2012. Life cycle assessment of phosphorus alternatives for Swedish agriculture. *Resources, Conservation and Recycling*, 66: 27-39. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2012.04.006>
- Lips, M., 2017. Length of operational life and its impact on life-cycle costs of a tractor in Switzerland. *Agriculture*, 7 (8): 1-9. <https://doi.org/10.3390/AGRICULTURE7080068>
- Longo, S., M. Mistretta, F. Guarino & M. Cellura, 2017. Life cycle assessment of organic and conventional apple supply chains in the North of Italy. *Journal of Cleaner Production*, 140: 654-663. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2016.02.049>
- Lyu, Y., M. Raugei, X. Zhang, S. Mellino & S. Ulgiati, 2021. Environmental cost and impacts of chemicals used in agriculture: An integration of energy and life cycle assessment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 151 (2021): 1-12. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2021.111604>
- Macombe, C., P. Leskinen, P. Feschet & R. Antikainen, 2013. Social life cycle assessment of biodiesel production at three levels: a literature review and development needs. *Journal of Cleaner Production*, 52: 205-216. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2013.03.026>
- Martínez-Blanco, J., A. Lehmann, P. Muñoz, A. Antón, M. Traverso, J. Rieradevall & M. Finkbeiner, 2014. Application challenges for the social life cycle assessment of fertilizers within life cycle sustainability assessment. *Journal of Cleaner Production*, 69: 34-48. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2014.01.044>
- Meier, M. S., F. Stoessel, N. Jungbluth, R. Juraske, C. Schader & M. Stolze, 2015. Environmental impacts of organic and conventional agricultural products - Are the differences captured by life cycle assessment? *Journal of Environmental Management*, 149: 193-208. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.10.006>
- Mohamad, R. S., V. Verrastro, G. Cardone, M. R. Bteich, M. Favia, M. Moretti & R. Roma, 2014. Optimization of organic and conventional olive agricultural practices from a Life Cycle Assessment and Life Cycle Costing perspectives. *Journal of Cleaner Production*, 70: 78-89. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.02.033>
- O'Brien, M., A. Doig & R. Clift, 1996. Social and environmental life cycle (SELCA): Approach and methodological development. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 1 (4): 231-237.
- Pergola, M., A. Persiani, V. Pastore, A. M. Palese, A. Arous & G. Celano, 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. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2016.10.030>

- Pishgar-Komleh H. S., P. Sefeedpari, N. Pelletier & M. Brandão, 2019. "Life Cycle Assessment Methodology for Agriculture: Some Considerations for Best Practices, 3-48". *Assessing the Environmental Impact of Agriculture*. 1st Ed. (Ed. B. P. Weidema), Burleigh Dodds Science Publishing, 300 pp. <https://doi.org/10.1201/9780429275425>
- Prasara, J. & S. H. Gheewala, 2015. "Social Life Cycle Assessment of Agricultural Products: Experiences on Rice, Sugarcane and Cassava in Thailand, 1-38". In *Social Life Cycle Assessment Case Studies from Agri and Food Sectors*. (Eds. S. S. Muthu), Hong Kong, 76 pp.
- Ren, J., L. Dong, L. Sun, M. E. Goodsite, S. Tan & L. Dong, 2015. Life cycle cost optimization of biofuel supply chains under uncertainties based on interval linear programming. *Bioresource Technology*, 187: 6-13. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2015.03.083>
- Ruviaro, C. F., M. Gianezini, F. S. Brandão, C. A. Winck & H. Dewes, 2012. Life cycle assessment in Brazilian: Agriculture facing worldwide trends. *Journal of Cleaner Production*, 28: 9-24. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2011.10.015>
- Senthil Kumar, P. & P. R. Yaashikaa, 2019. "Case Study on Social Life Cycle Assessment of the Dairy Industry, 59-76". *Social Life Cycle Assessment Case Studies from Agri and Food Sectors* (Eds. S. S. Muthu). Hong Kong, 76 pp.
- Torrellas, M., A. Antón, J. C. López, E. J. Baeza, E. J., J. P. Parra, P. Muñoz & J. I. Montero, 2012. LCA of a tomato crop in a multi-Tunnel greenhouse in Almería. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 17 (7): 863-875. <https://doi.org/10.1007/s11367-012-0409-8>
- Tricase, C., E. Lamónaca, C. Ingrao, J. Bacenetti & A. lo Giudice, 2018. A comparative life cycle assessment between organic and conventional barley cultivation for sustainable agriculture pathways. *Journal of Cleaner Production*, 172: 3747-3759. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2017.07.008>
- Trinh, L. T. K., A. H. Hu, Y. C. Lan & Z. H. Chen, 2020. Comparative life cycle assessment for conventional and organic coffee cultivation in Vietnam. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 17 (3): 1307-1324. <https://doi.org/10.1007/S13762-019-02539-5/FIGURES/14>
- Tsangas, M., I. Gavriel, M. Doula, F. Xení & A. A. Zorpas, 2020. Life cycle analysis in the framework of agricultural strategic development planning in the Balkan Region. *Sustainability* 2020, 12 (5): 1-15. <https://doi.org/10.3390/SU12051813>
- Varela-Ortega, C., I. Blanco-Gutiérrez, R. Manners & A. Detzel, 2021. Life cycle assessment of animal-based foods and plant-based protein-rich alternatives: A socio-economic perspective. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2021: 1-10. <https://doi.org/10.1002/JSFA.11655>
- Yıldırım, H., 2014. İzmir ve Manisa'da işlenen domatesin sosyal yaşam döngüsü analizi. *Tarım Ekonomisi Dergisi*, 20 (2): 89-100.
- Zhu, Z., Z. Jia, L. Peng, Q. Chen, L. He, Y. Jiang & S. Ge, 2018. Life cycle assessment of conventional and organic apple production systems in China. *Journal of Cleaner Production*, 201: 156-168. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2018.08.032>
- Zira, S., E. Rööös, E. Ivarsson, R. Hoffmann & L. Rydhmer, 2020. Social life cycle assessment of Swedish organic and conventional pork production. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 25 (10): 1957-1975. <https://doi.org/10.1007/S11367-020-01811-Y/TABLES/9>