

Sürdürülebilirlik ve Ahşap Malzemede Yaşam Döngüsü Analizi Kullanımı

Göksu ŞİRİN^{1,*}, Deniz AYDEMİR², Gökhan GÜNDÜZ³

¹Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Almus Meslek Yüksekokulu, Ormançılık ve Orman Ürünleri Programı, Tokat, Türkiye

²Bartın Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bartın, Türkiye

³İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Hatay, Türkiye

Makale Tarihi

Gönderim: 17.08.2023

Kabul: 06.06.2024

Yayın: 15.08.2024

Derleme Makalesi



Öz – Bugün var olan ekolojik sistem süreç ve üretkenliğinin gelecekte de devam ettirilebilmesi sürdürülebilirliğin temelidir. Ahşap, doğadaki yenilenebilir ve geri dönüşümlü önemli malzeme kaynaklarından. Sürdürülebilirlik gibi karmaşık sorunları çözmek için büyük verileri işleyerek farklı sistemlerin çevresel etkilerini değerlendiren ve kıyaslayan birçok araç geliştirilmiştir. Yeni uygulamalarda, dar kapsamlı ve kısa vadeli çözümler sunan yöntemlerin yerini, sürdürülebilirliğin çevresel, sosyal ve ekonomik boyutlarını içeren çevre yönetimi ve temiz üretim çalışmalarının almaya başladığı görülmektedir. Yaşam Döngüsü Analizi (YDA), ürünlerin çevresel etkilerini değerlendirmek için uluslararası kabul görmüş ve standartlaştırılmış bir yöntemdir. Analiz yöntemi, endüstriyel ürünlerin yaşam döngüsünde çevresel açıdan değerlendirilmesi amacıyla ortaya çıkmıştır. Üretim süreçlerinin sürdürülebilirliğinin ve çevreye etkilerinin değerlendirilmesinde kullanılan YDA, hammaddelerin üretiminden başlar ve ürünlerin ömrünü tamamlayıp atık haline gelene kadar olan süreci takip eder. Birçok araştırmacı, YDA aracının, ürünlerin daha etkili ve çevresel açıdan daha uygun olarak üretilmesi konusunda olumlu katkısı bulunduğuna dair hemfikirlerdir.

Anahtar Kelimeler – Ahşap malzeme, çevresel etkiler, hayat boyu değerlendirme, sürdürülebilirlik, yaşam döngüsü analizi

Sustainability and Use of Life Cycle Analysis in Wood Material

¹Department of Forestry and Forest Products, Almus Vocational School, Tokat Gaziosmanpaşa University, Tokat, Türkiye

²Department of Forest Engineering, Faculty of Forestry, Bartın University, Bartın, Türkiye

³Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Natural Sciences, İskenderun Technical University, Hatay, Türkiye

Article History

Received: 17.08.2023


Accepted: 06.06.2024


Published: 15.08.2024


Review Article

Abstract – Sustainability is possible if the current ecological system process and productivity can be continued in the future. Wood is one of the important renewable and recyclable material resources in nature. Many methods have been developed to evaluate and compare the environmental impacts of different systems by processing big data to solve complex problems such as sustainability. In new studies, it is seen that the methods that offer narrow and short-term solutions have started to be replaced by environmental management and cleaner production studies, which include the environmental, social and economic dimensions of sustainability. Life Cycle Analysis (LCA) is the internationally accepted and standardized method for evaluating the environmental impacts of products. The analysis method has emerged for the purpose of environmental evaluation of industrial products in their life cycle LCA, which is used to evaluate the sustainability of production processes and their impact on the environment, starts from the production of raw materials and follows the process until the products end their life and become waste. Many authors agree on the fact that the use of the LCA tool results in more effective and on appropriate environmental improvement of products.

Keywords – Environmental effects, life cycle analysis, life cycle assessment, sustainability, wood materials

¹  goksu.sirin@gop.edu.tr

²  denizaydemir@bartin.edu.tr

³  gokhan.gunduz@iste.edu.tr

* Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1. Giriş

Modern yaşamın getirdiği teknolojik gelişmeler sayesinde birçok malzeme üretim amacına mümkün olan en iyi şekilde hizmet etmektedir. Ancak kullanımları arttıkça bazı maddelerin olası kıtlığı gelecek için önemli bir tehdit olarak karşımıza çıkmaktadır (Graedel vd., 2015). Bu nedenle sürdürülebilirlik günümüzde gittikçe daha çok konuşulan bir kavram haline gelmiştir (Yavuz, 2010). Sürdürülebilirlik, üretim ve tasarım çalışmaları ile çevre sorunları gibi faktörler arasındaki kritik kesişimdir (Ekşi ve Çırak, 2017) denilebilir. Bugün var olan ekolojik sistem süreç ve üretkenliğinin gelecekte de devam ettirilebilmesi sürdürülebilirliğin temelidir (Yavuz, 2010) ve anahtar bir kavram olarak birçok disiplini etkilemektedir (Güner vd., 2017). Ekonomi açısından sürdürülebilir kalkınma şeklinde tanımlanan kavram, üretim sürecinde yenilenebilir kaynakları daha çok kullanmak ve üretim faaliyetinin çevreye olan etkilerinden sorumlu olmak anlamını taşır (Yavuz, 2010). Çevresel sorunların engellenmesiyle, ürünlerin toplam yaşam süresi maliyetlerini düşürerek sürdürülebilirliğin sağlanmasına çalışılır (Ekşi ve Çırak, 2017). Tüm bu açılardan ele alındığında sürdürülebilirliğin ancak doğal kaynakların kendilerini yenileyebilmelerine olanak tanınmasıyla ulaşılabilecek bir hedef olduğu söylenebilir (Yavuz, 2010). Doğa sermayesine yatırım yapmak sürdürülebilir ekonomik faaliyetlerin sağlanmasında önemli bir aşamadır. Doğa sermayesi, gelecekteki ürünleri ve hizmetlerini sağlayacak stoklar olarak ifade edilebilir (Yavuz, 2010).

Ormanlar, insanlık için en önemli doğal kaynaklardan biridir. Sürdürülebilir kalkınma politikalarında, ormana dayalı sektörler gibi doğal kaynakların kullanıldığı ekonomik faaliyetler son derece önemlidir (Bennich vd., 2021; Beaussier vd., 2022). Ahşap, doğadaki yenilenebilir ve geri dönüşümlü önemli bir orman ürünüdür. Hafifliği, yüksek dayanımı, emprenye tekniği ile çürüme, böcek tahribatı ve yangına karşı korunması, her türlü yapıda onarım ve plan değişikliğinin kolay olması ahşap malzemenin sürdürülebilirliğini artırmaktadır (Bostancıoğlu ve Birer, 2004; Güleriyüz ve Dostoğlu, 2011). Ahşabın kaynağı olan ormanlar için sürdürülebilir ormancılık “Ormanların ve orman alanlarının biyolojik çeşitliliğinin, verimliliğinin, gençleşme kapasitesinin, canlılığının ve potansiyelinin yerel, ulusal ve küresel düzeylerde, günümüzde ve gelecekte kendilerinden beklenen ekolojik, ekonomik ve sosyal fonksiyonları yerine getirecek ve diğer ekosistemlere zarar vermeyecek şekilde işletilmesi ve kullanılmasıdır” (Akyol ve Tolunay, 2006) olarak tanımlanmıştır.

Orman kaynaklarının ve ahşap malzemelerin sürdürülebilirliği konularını da içeren, karmaşık sorunları çözmek için büyük verileri işleyerek farklı sistemlerin çevresel etkilerini değerlendiren ve kıyaslayan birçok araç geliştirilmiştir (Lemke, 2021). Stratejik Çevresel Değerlendirme, Çevresel Etki Değerlendirmesi, Çevresel Risk Değerlendirmesi, Maliyet Fayda Analizi, Malzeme Akışı Analizi ve Ekolojik Ayak İzi Sistemleri bunlardan bazılarıdır (Hackenhaar vd., 2022). Bu çalışmada ise Yaşam Döngüsü Analizi (YDA) üzerinde durulmuştur.

YDA, endüstriyel ürünlerin yaşam döngülerinde (Al-Huthaifi vd., 2021) potansiyel çevresel etkilerinin muhasebeleştirilmesi ve değerlendirilmesi için tasarlanmış nispeten yeni ve gelişen bir araçtır (Kohlmaier vd., 1998). Bu genişletilmiş analiz türünü açıklamak için ekodenge, ekoprofil, beşikten mezara analiz gibi çeşitli isimler önerilmiştir ancak YDA, birçok ülkede, akademi, uygulayıcılar ve endüstri tarafından anahtar isim olarak geniş çapta kabul görmüştür (Kohlmaier vd., 1998). Yöntem, uluslararası standart ISO 14000 Çevre Yönetim Sistemi Standartları'nın bir parçası olarak kullanılmaktadır. ISO 14040 yaşam çevrim analizinin ilkelerini ve sistemini açıklamakta, ISO 14044 ise gereklerini ve ana hatlarını içermektedir (Yavuz, 2010). Çerçeve görevi gören ISO 14040'ın giriş bölümünde YDA şu şekilde tanımlanmaktadır: “Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDA, ekodenge olarak da bilinir), çevresel boyutların ve etkinin ürünle ilgili tahminine yönelik bir tekniktir. YDA, beşikten mezara bir sürecin tüm aşamalarıyla (ham maddelerden malzeme işleme, üretim, dağıtım, kullanım, onarım, bakım ve imha veya geri dönüşümü) ilişkili her bir etkiyi değerlendirir” (Klöppfer ve Grahl, 2014). Tanımlamada görüldüğü gibi analizler, hammaddelerin üretiminden başlar ve ürünlerin ömrünü tamamlayıp atık haline gelene kadar olan süreci takip eder (Culaba ve Purvis, 1999). Yöntem, alternatif proseslerin çevresel performanslarını karşılaştırmak, toplam enerji tüketimini yorumlamak, enerji kazanımlarını ve emisyon

azaltma tekniklerini belirlemek, karar vericileri politikalar ve enerji verimliliği yatırımları hakkında bilgilendirmek amacıyla kullanılan (Hossaina vd., 2016; Al-Huthaifi vd., 2021) oldukça güçlü bir sistemdir (Tsalidis vd., 2022).

1.1 Yaşam Döngüsü Analizi'nin Uygulanması ve Ahşap Malzemede Çalışmalar

YDA'nın genellikle dört bileşeni vardır (Deat, 2004). Standart metodolojik çerçeve amaç ve kapsam tanımlarını, yaşam döngüsü envanter analizini, etki değerlendirmesini ve yorumlamayı içerir (Duan vd., 2022).

1. Amaç ve kapsam

Amaç ve kapsam, tanımlamanın yapıldığı ilk adımdır. Çalışmanın amacı, nedeni, hedefler, veriler, sınırlar, uygulama ve yorumlama şekli burada açıklanır.

2. Envanter analizi

Envanter analizinde veriler toplanır, yorumlanır ve envanter sonuçları hesaplanarak sunulur. Analiz, teknik sistemin bir akış modeliyle sonuçlanır.

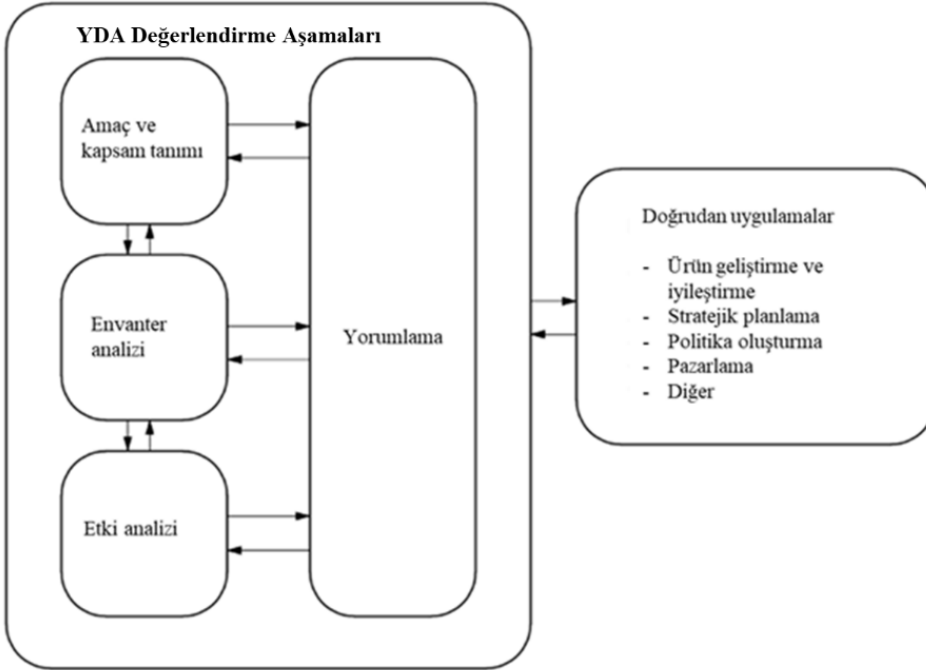
3. Etki değerlendirmesi

Etki değerlendirmesinde ürün veya üretim sistemi çevresel bir bakış açısıyla incelenir. Ayrıca yorumlama aşaması için bilgi sağlar.

4. Yorumlama (İyileştirme değerlendirmesi)

Yorumlama, sonuçların amaç ve kapsam tanımıyla ilişkili olarak analiz edildiği, sonuçlara ulaşıldığı, sonuçların sınırlılıklarının belirlendiği ve önceki aşamaların bulgularına dayalı olarak tavsiyelerin sunulduğu aşamadır.

Şekil 1'de basitleştirilmiş bir biçimde YDA aşamaları görülmektedir.



Şekil 1. Yaşam Döngüsü Analizi adımları (Alanya-Rosenbaum vd., 2022)

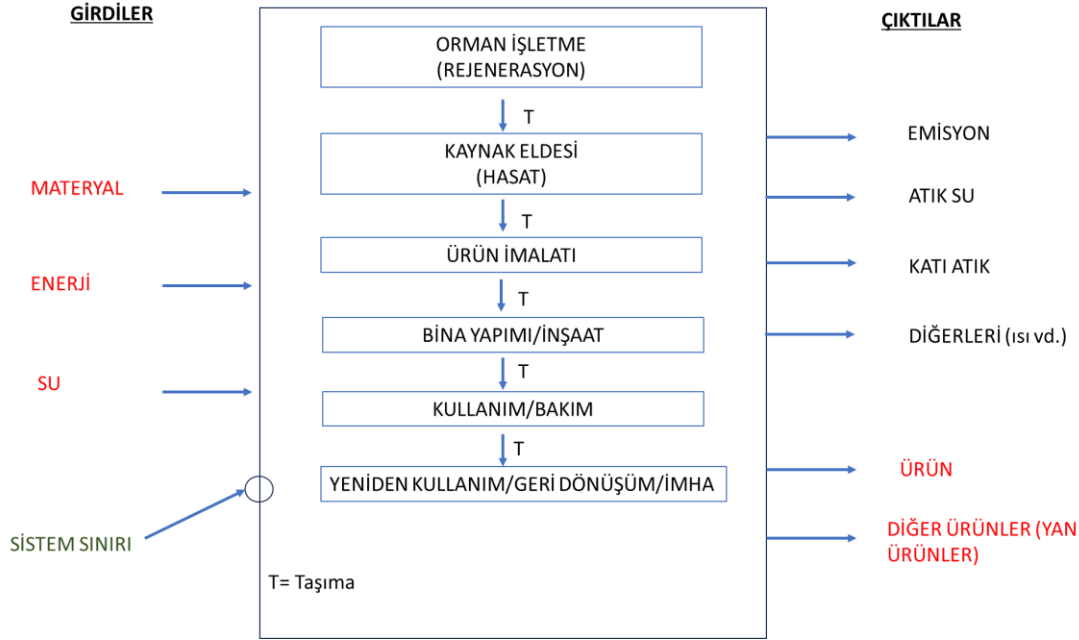
Temel prosedür, görüldüğü gibi tüm sistemin incelenmesi, etkilerin değerlendirilmesi ve en iyi seçeneğin seçilmesi şeklinde kavram olarak nispeten basittir. YDA'nın kapsamı, örneğin yaşam döngüsünün bir aşamasından diğerine, bir bölgeden diğerine veya bir çevresel sorundan diğerine sorun kaymasını önlemek için etkili ve faydalıdır (Quéheille vd., 2022). Yani yaşam döngüsü düşüncesi, sorunları bir yaşam döngüsü adından diğerine aktarmaktan kaçınırken, olumsuz etkileri en aza indirmek ve olumlu etkileri vurgulamak olarak tanımlanabilir (Cobut vd., 2013). Ancak fiili uygulamada birtakım zorluklar vardır. Prosedürü tanımlarken kullanılan anahtar kelimelerin her biri doğru ve tüm yaşam döngüsünü içerecek şekilde olmalıdır. Aksi takdirde önemli etkiler ihmal edilebilir (Gaines ve Stodolsky, 1997). Birbirine bağlı işlem birimleri (ürün ağacının yaşam döngüsü) bir sistem oluşturur. Merkezde bir ürün, bir süreç, bir hizmet veya en geniş anlamıyla insan faaliyeti olacaktır (Klöpffer ve Grahl, 2014). Analizde çok fazla veri işlenmektedir ve sonuçlar duruma göre değişir (Takano vd., 2015). Süreç birimleri ve işlemlerinin dahil edilmesi, çeşitli enerji kaynakları, yan ürünler, atık yönetimi ve benzer eklentiler bile bu basit şemayı çok daha karmaşık bir yapıya dönüştürür (Klöpffer ve Grahl, 2014). Karmaşıklığı yönetilebilir bir forma indirgemek için birçok varsayım, basitleştirme ve tahmin gereklidir (Kohlmaier vd., 1998). YDA yaklaşımlarına genellikle standartlar rehberlik eder. Bununla beraber profesyonel uygulama kuralları da geliştirilmiştir (Deat, 2004). ISO gibi gruplar tarafından çok iyi tanımlanmış olan standart metodoloji, herkesin böyle bir analiz yapmasını kolaylaştırır. Bu durum bazı yaygın hata türlerini ortadan kaldırır ve çalışmalar arasında en azından minimum düzeyde tutarlılık sağlar (Gaines ve Stodolsky, 1997). Fakat dünya genelinde verilerin farklı yorumlanması sonucunda ortak sonuca yönelik değerlendirmeler yapılamayabilir (Kaya ve Türkeri, 2010) ya da standartlar bazen deneyimli analistlerin bile hata yapmasına neden olabilir (Gaines ve Stodolsky, 1997). Etkilerin değerlendirilmesi analist ya da karar verici açısından zor olabilir (Gaines ve Stodolsky, 1997). Etkileri değerlendirmek için atıfsal ve sonuçsal olarak iki ana YDA modelleme yaklaşımı vardır. Atıfsal döngü analizi ve sonuçsal döngü analizi metodolojileri, yaşam döngüsüyle ilgili farklı soruları ele almak için tasarlanmıştır. Atıfsal ya da ilişkilendirme yaklaşımı, analiz edilen süreçleri açıklamaya uygunken sonuçsal yaklaşım ise, süreç sonuçları ve sonuca ulaşırlarken yaşanan doğrudan ya da dolaylı değişiklikleri analiz etmeye daha uygundur (Hackenhaar vd., 2022).

Ahşap malzemeler de yapısal özellikleri ve kullanım alanları itibarıyla YDA çalışmaları içerisinde önemli bir yere sahiptir. Ahşap ürünlerin doğal özellikleri hassas bir konudur ve bu özellikler sıklıkla tartışılmaktadır (Pawelzik vd., 2013; Takano vd., 2015). Günümüzde odun hasadından geri dönüşüme kadar tüm çalışma alanlarında kullanılabilen YDA teknolojisi, bütüncül yaklaşımı ile farklı üretim biçimlerini ve bunun sonucunda ortaya çıkan çevresel etkileri karşılaştırır (Cobut vd., 2013). Ürünler için odun hasat edildikten sonra da odun işleme çalışmaları devam etmektedir (Perez-Garcia vd., 2005). Ahşap malzemelerin yaşam döngüsü; tohum ekimi, ağacın yetiştirilmesi, biyokütlenin hasadı, taşınması, odun esaslı ürünün üretimi, nakledilmesi, montajı, kullanımı ve geri dönüşümü gibi çeşitli alanları içerir (Diederichs, 2014; Şahin vd., 2022). Yuvarlak ve endüstriyel odun gibi doğrudan ormancılık ürünlerinden farklı tipte ahşap bazlı malzemelere, peletlere, ağaç kabuğu, talaş vb. diğer yan ürünlere kadar oldukça çeşitli malzemeler, yakıtlar ve üretim süreçleri programlara entegre edilmiştir. Bu, tüm ağaç işleme zincirinin tutarlı bir şekilde modellenmesi açısından belirli bir metodolojik çalışma ortaya çıkarır (Hischier vd., 2005). Şekil 2'de ağaçların rejenerasyonundan ahşap malzemelerin imhasına kadar tam yaşam döngüsü görülmektedir.

Ahşap ürünler hakkında ürün ve üretim çeşitliliği sayesinde farklı alanlarda araştırmalar görmek mümkündür. Örneğin ambalaj malzemelerinin çevresel öneminin sürekli gündemde olması nedeniyle kâğıt ve karton türleri ile yapılan çeşitli şekillerdeki ambalajların kapsamlı üretim yöntemleri YDA'nın ilk yıllarından itibaren ana odak noktalarından olmuştur (Hischier vd., 2005).

Günümüzde çoğu ahşap ürün ormanlardan temin edilmektedir. Bununla birlikte birçok şehir, altyapıyı genişletmek, rutin bakım ve geliştirme faaliyetlerini yapabilmek için ağaçların kaldırılmasından büyük miktarlarda yüksek değerli atık odun üretmektedir. Bu atık odunlar için YDA kullanarak yapılan bir çalışmada kereste üretiminde çevresel olarak uygun bir seçenek olduğu sonucuna varılmıştır (Alanya-Rosenbaum vd., 2022).

Pehnt, (2006) ise çalışmasında odun ve odun talaşı ile yapılan ısıtmada oluşan sera gazı etkisi için %20 oranında düzelme sağlanabileceğini gösteren bir YDA yapmıştır. Yine başka bir çalışmada karaçam kerestelerinden masif ahşap üretimi ile ilgili YDA'da üretim işlemlerinin çevre üzerindeki etkileri tartışılmıştır (Hu vd., 2018).



Şekil 2. Ağaçların rejenerasyonundan ahşap malzemelerin imhasına kadar tam yaşam döngüsü (Bergman vd., 2014)

Yapılarda ahşap kullanımının etkileri de YDA için önemli bir araştırma alanıdır. Gerilla vd., (2007) farklı ülkelerdeki ahşap ve çelik katkılı betonarme binaların yaşam döngüsü enerjilerini hesaplamışlar ve çevresel etkilerini incelemişlerdir. Buna göre; betonarme binaların ahşap binalardan daha fazla olumsuz etkiye sahip olduğunu bildirmişlerdir. Yine Pajchrowski vd., (2014), binalarda ahşap kullanımının çevresel etkilerini incelemişler, ahşap ürünlerin, doğal özellikleri ve beton yapılara göre daha düşük ağırlıkları sayesinde bina yaşam döngüsüne çevresel bir fayda sağladığını göstermişlerdir. Ahşap bir yapı üzerinde YDA'nın kullanımını gösteren diğer bir çalışmada, ahşap ürünler ve ahşap konstrüksiyonla ilgili olası geliştirme noktaları üzerine öneriler sunulmuştur (Takano vd., 2015). Güteryüz ve Dostoğlu, (2011) sürdürülebilir bir yapı için en önemli konulardan birinin yaşam döngüsü tasarımı olduğu belirtilen çalışmalarında sürdürülebilirlik için uygun yöntem seçimini araştırmıştır.

YDA uygulamaları ile yeşil üretim ve pazarlama yöntemleri adı verilen çalışmalar levha sektörü için de oldukça fazladır. Bu çalışmaların amacı malzeme üretimi ve geri dönüşümü hakkında daha iyi bilgi sahibi olmaktır (Crafford vd., 2021; Şahin vd., 2022). Ahşabın ilk kullanımı ve atık hale geldikten sonra aynı ürünün üretimi için kullanımının araştırıldığı bir çalışmada YDA'nın, mal ve hizmet üretiminin çevresel etkileri hakkında kapsamlı bilgi elde etmek için güçlü bir araç olduğu ifade edilmiştir (Höglmeier vd., 2014).

Bir ahşap ürün, birden fazla yaşam döngüsü aşaması için çevresel etki azaltma konusunda sertifikalandırılabilir. YDA'nın eko-etiket kullanımı için etkili bir araç olabileceği düşünülmektedir. Sertifikalı ürünler, farklı yaşam döngüsü aşamaları için önerilerle değerlendirilir (Cobut vd., 2013). Çevresel bir YDA çalışması, seçeneklerin değerlendirilmesinde önemli kolaylıklar sağlar (Alanya-Rosenbaum vd., 2022). Yaşam döngüsü aşamasındaki kriterlerin sayısı ve yaşam döngüsü aşamalarının kapsamı kullanılan analiz programına bağlı olacaktır (Cobut vd., 2013).

2. Sonuçlar

Çeşitli endüstri dallarında, bilimsel ve çevresel faaliyetlerle ilgili çalışmalarda son dönemlerde sürdürülebilirliğe verilen önem YDA verilerinin kullanımını artırmaktadır. Geri dönüşüm durumu, enerji kullanım ve kayıp oranları analizlerle çok daha net şekilde belirlenebilmektedir. Süreç adımları, olası değişiklikleri, çevresel etkileri, seçenekleri ve onların sonuçlarını belirlemeyi kolaylaştırmaktadır. Uzun vadeli çözümler oluşturmak analizlerin önemli amaçlarından biridir. Elbette yöntem birçok alanda entegre çalışmayı da beraberinde getirmektedir. Ortak çalışmalar analistler ve uygulayıcılar için uzmanlığın artmasında etkili olmaktadır. Bunun yanı sıra çalışmalarla ilgili literatür oluşmasına da katkı sağlamaktadır.

Yaşam döngüsü çalışmalarının etkinliğinin artması akademik ve teknik alanlardaki gelişmelere paralel olarak devam edebilir. Günümüzde bazı alanlarda uzmanlık eksikliği ya da maliyeti yüksek projeler YDA kullanımındaki sorunlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunun yanı sıra analizler için veriler kısıtlı miktarda kalmaktadır. Çalışmaların desteklenmesi ve teşvik edilmesi bu alandaki farkındalığı artırabilir. Araştırmalar, ürünlerin üretim ve bertaraf süreçlerinde YDA aracının etkili sonuçlar verdiğini göstermektedir. Ahşap malzemeler her ne kadar yenilebilir bir kaynak olan odunlardan elde edilse de tükenmez olmayan bu kaynağın daha etkin kullanımında giderek gelişen YDA çalışmaları olumlu katkı sağlamaktadır.

Yazar Katkıları

Göksu Şirin: Literatür taraması, araştırma, yorumlama, kontrol yapmış ve makaleyi yazmıştır.

Deniz Aydemir: Araştırma, yorumlama, kontrol ve düzenleme yapmıştır.

Gökhan Gündüz: Araştırma, yorumlama, kontrol ve düzenleme yapmıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

Kaynaklar

- Akyol, A. ve Tolunay, A. (2006). Türkiye’de sürdürülebilir orman kaynakları yönetimi, ilkeleri, göstergeleri ve uygulamaları. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(2), 221-234. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/sdufenbed/issue/20780/221863>
- Alanya-Rosenbaum, S., Bergman, R. D., Wiedenbeck, J., Hubbard, S. S. and Kelley, S. S. (2022). Life cycle assessment of utilizing freshly cut urban wood: A case study. *Urban Forestry Urban Greening*, 76, 127723. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127723>
- Al-Huthaifi, A. A. M. M. ve Altan, M. F. (2021). Yapı sektöründe uygulanan yaşam döngüsü değerlendirilmesinde karşılaşılan sorunlara çözüm önerileri. *MAS Journal of Applied Sciences*, 6(1), 194-210. <https://doi.org/10.52520/masjaps.47>
- Beaussier, T., Cauria, S., Bellon-Maurel, V., Delacote, P. and Loiseau, E. (2022). Deepening the territorial Life Cycle Assessment approach with partial equilibrium modelling: First insights from an application to a wood energy incentive in a French region. *Resources, Conservation and Recycling*, 179, 106024. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.106024>
- Bennich, T., Belyazid, S., Stjernquist, I., Diemer, A., Seifollahi-Aghmiuni, S. and Kalantari, Z. (2021). The bio-based economy, 2030 Agenda, and strong sustainability – a regional- scale assessment of sustainability goal interactions. *Journal of Cleaner Production*, 283, 125174 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125174>
- Bergman, R., E., Puettmann, M., Eastin, I. and Ganguly, I. (2014). Updating of US wood product life-cycle assessment data for environmental product declarations. *World conference on timber engineering*, (pp. 10-14). Quebec City, Canada.
Erişim adresi: https://www.fpl.fs.usda.gov/documnts/pdf2014/fpl_2014_bergman006.pdf

- Bostancıoğlu, E. ve Düzgün Birer, E. (2004). Ekoloji ve Ahşap: Türkiye’de ahşap malzemenin geleceği. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 9(2), 37-44. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/202835>
- Cobut, A., Beauregard, R. and Blanchet, P. (2013). Using life cycle thinking to analyze environmental labeling: the case of appearance wood products. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 18, 722-742. DOI: 10.1007/s11367-012-0505-S
- Crafford, P., L., Wessels, C. B. and Blumentritt, M. (2021). Sustainability and wood constructions: A review of green building rating systems and life-cycle assessment methods from a South African and developing world perspective. *Advances in Building Energy Research*, 15(1), 67-86. <https://doi.org/10.1080/17512549.2018.1528884>
- Culaba, A. B. and Purvis, M. R. I. (1999). A methodology for the life cycle and sustainability analysis of manufacturing processes. *Journal of Cleaner Production*, 7(6), 435-445. [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(99\)00231-0](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(99)00231-0)
- Deat, (2004). *Life cycle assessment, integrated environmental management*. Information Series 9, Department of Environmental Affairs and Tourism (DEAT), Pretoria. ISBN 0-9584728-5-8. Erişim adresi: https://www.dffe.gov.za/sites/default/files/docs/series9_lifecycle_assessment.pdf
- Diederichs, S. K. (2014). 2010 Status quo for life cycle inventory and environmental impact assessment of wood-based panel products in Germany. *Wood and Fiber Science*, 3, 340-355. Erişim adresi: <https://wfs.swst.org/index.php/wfs/article/view/191>
- Duan, Z., Huang, Q. and Zhang, Q. (2022). Life cycle assessment of mass timber construction: A review. *Building and Environment*, 221, 109320. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109320>
- Ekşi, G. ve Çırak, C. R. (2017). Farklı bakış açılarıyla LCA incelemesi. *Hacettepe Üniversitesi, Ocak*. Erişim adresi: https://dlwqtxts1xzle7.cloudfront.net/51344961/Farkli_Bakis_Acilariyla_LCA_Inceleme
- Gaines, L. and Stodolsky, F. (1997). Life-Cycle Analysis: Uses and pitfalls. *Air and waste management association 90th annual meeting & exhibition conference*. Ontario, Canada. Erişim adresi: https://www.researchgate.net/publication/255258522_Lifecycle_analysis_Uses_and_pitfalls
- Gerilla, G., Teknomo, K. and Hokao, K. (2007). An environmental assessment of wood and steel reinforced concrete housing construction. *Building and Environment*, 42, 2778-2784. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.07.021>
- Graedel, T. E., Harper, E. M., Nassar, N. T. and Reck, B. K. (2015). On the materials basis of modern society. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(20), 6295-6300. <https://doi.org/10.1073/pnas.1312752110>
- Güleryüz, M. ve Dostoğlu, N. (2011). Yapıların strüktürel sisteminde malzeme seçiminin sürdürülebilir tasarım bağlamında değerlendirilmesi. *Mimarlıkta Taşıyıcı Sistemler Sempozyumu*. İstanbul, Türkiye. Erişim adresi: <https://www.researchgate.net/publication/340818564>
- Güner, C., Gökşen, F. ve Koçhan, A. (2017). Sürdürülebilir kalkınma modeli için çevre duyarlı yapılarda malzeme seçiminin incelenmesi. *Akademia Disiplinlerarası Bilimsel Araştırmalar Dergisi*, 3(2), 1-14. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/adbadi/issue/33581/338091>
- Hackenhaar, I. C., Almenar, J. B., Elliot, T. and Rugani, B. (2022). A spatiotemporally differentiated product system modelling framework for consequential life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 333, 130127. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130127>
- Hischier, R., Althaus, H. J. and Werner, F. (2005). Developments in wood and packaging materials life cycle inventories in ecoinvent. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 10, 50-58. <http://dx.doi.org/10.1065/lca2004.11.181.6>
- Hossaina, U., Poona, C.S., Lo, I.M. and Cheng, J.C. (2016). Comparative LCA on using waste materials in the cement industry: A Hong Kong case study. *Resources, Conservation and Recycling*, 120, 199-208. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.12.012>
- Höglmeier, K., Weber-Blaschke, G. and Richter, K. (2014). Utilization of recovered wood in cascades versus utilization of primary wood - a comparison with life cycle assessment using system expansion. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 19, 1755-1766. DOI 10.1007/s11367-014-0774-6
- Hu, S., Guan, X., Guo, M. and Wang, J. (2018). Environmental load of solid wood floor production from larch grown at different planting densities based on a life cycle assessment. *Journal of Forestry Research*, 29, 1443-1448. <https://doi.org/10.1007/s11676-017-0529-x>

- ISO, (2008). International Organization for Standardization. ISO 14000 Essentials. Erişim Tarihi: 12.01.2023. Erişim adresi: http://www.iso.org/iso/iso_14000_essentials
- ISO, (2006). International Organization for Standardization. ISO 14040 Environmental management - life cycle assessment - principles and framework. Erişim tarihi: 12.01.2023. Erişim adresi: <https://www.iso.org/standard/37456.html>
- ISO, (2006). International Organization for Standardization. ISO 14044 Environmental management - life cycle assessment - requirements and management. Erişim Tarihi: 12.01.2023. Erişim adresi: <https://www.iso.org/search.html?q=14044>
- Kaya, M. U. ve Türkeri, N. (2010). Dış duvar sistemlerinde kullanılan yapı malzemelerinin yaşam döngüsü değerlendirmesi. 5. *Ulusal Çatı ve Cephe Sempozyumu*. İzmir, Türkiye. Erişim adresi: <https://www.cattider.org.tr/pdf/sempozyum5/Semp%205%20Bildiri%2002.pdf>
- Klöpffer, W. and Grahl, B. (2014). *Life cycle assessment (LCA): A guide to best practice*. Wiley-VCH. ISBN: 9783527655625. DOI:10.1002/9783527655625
- Kohlmaier, G. H., Weber, M., Houghton, R. A. and Richter, K. (1998). *Life cycle assessment of wood products. Carbon dioxide mitigation in forestry and wood industry*, 219-248. Springer Nature. Erişim adresi: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-662-03608-2>
- Lemke, C. (2021). *Accounting and statistical analyses for sustainable development: Multiple perspectives and information-theoretic complexity reduction* (p. 31). Springer Nature. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1007/978-3-658-33246-4>
- Pajchrowski, G., Noskowiak, A., Lewandowska, A. and Strykowski, W. (2014). Wood as a building material in the light of environmental assessment of full life cycle of four buildings. *Construction and Building Materials*, 52, 428–436. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.11.066>
- Pawelzik, P., Carus, M., Hotchkiss, J., Narayan, R., Selke, S., Wellisch, M., Weiss, M., Wicke, M. and Patel, M. K. (2013). Critical aspects in the life cycle assessment (LCA) of bio-based materials—reviewing methodologies and deriving recommendations. *Resources Conservation Recycling*, 73, 211–228. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.02.006>
- Pehnt, M. (2006). Dynamic life cycle assessment (LCA) of renewable energy technologies. *Renewable Energy*, 31(1), 55-71. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2005.03.002>
- Perez-Garcia, J., Lippke, B., Connick, J. and Manriquez, C. (2005). An assessment of carbon pools, storage, and wood products market substitution using life-cycle analysis results. *Wood and Fiber Science, December*, 140-148. Erişim adresi: <https://wfs.swst.org/index.php/wfs/article/view/840>
- Quéheille, E., Ventura, A., Saiyouri, N. and Taillandier, F. (2022). A Life Cycle Assessment model of end-of-life scenarios for building deconstruction and waste management. *Journal of Cleaner Production*, 339, 130694. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130694>
- Şahin, M. E., Kalaycıoğlu, H. ve Aras, U. (2022). Odun esaslı levha sektöründe Yaşam Döngüsü Analizi'ne bir bakış. *Ormanlık Araştırma Dergisi*, 9(Özel Sayı), 342-354. <https://doi.org/10.17568/og-moad.1096193>
- Takano, A., Hafner, A., Linkosalmi, L., Ott, S., Hughes, M. and Winter, S. (2015). Life cycle assessment of wood construction according to the normative standards. *European Journal of Wood and Wood Products*, 73, 299-312. DOI: 10.1007/s00107-015-0890-4
- Tsalidis, G. A., Soeteman-Hernández, L. G., Noorlander, C. W., Saedy, S., van Ommen, J. R., Vijver, M. G. and Korevaar, G. (2022). Safe-and-sustainable-by-design framework based on a prospective life cycle assessment: Lessons learned from a nano-titanium dioxide case study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(7), 4241. <https://doi.org/10.3390/ijerph19074241>
- Yavuz, V. A. (2010). Sürdürülebilirlik kavramı ve işletmeler açısından sürdürülebilir üretim stratejileri/concept of sustainability and sustainable production strategies for business practices. *Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 7(14), 63-86. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/mkusbed/issue/19556/208640>