

PLASTİK BİR SU ISITICININ EKO-TASARIM STRATEJİSİNE GÖRE YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ

Neslihan TOP¹, Veysel ÖZDEMİR¹, İsmail ŞAHİN¹

¹Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü,
Ankara Türkiye

neslihan@top@gazi.edu.tr (ORCID 0000-0002-0771-6963)

vozdemir@gazi.edu.tr (ORCID 0000-0001-9806-9599)

isahin@gazi.edu.tr (ORCID 0000-0001-8566-3433)

Özet

Teknolojinin gelişimi ve artan refah seviyesiyle birlikte piyasada yeni pazar ihtiyaçları ve kullanıcı beklentileri ortaya çıkmaktadır. Yeni geliştirilen bir ürün, tüketicilerin sosyal ve ekonomik beklentilerini karşılamakla birlikte tüketim kültürü üzerinde bir rol oynamalıdır. Ürün tasarımı sürecinde, tasarımcı ve mühendisler tarafından ürünün çevresel etkileri göz önünde bulundurularak, geri dönüştürülebilir malzemelerin kullanımına öncelik verilmeli ve minimum atık prensibi benimsenmelidir. Tüketiciler ise sürdürülebilirlik bilinciyle ürün satın almalıdır. Bir ürünün sürdürülebilirliği, çevresel açıdan eko-uyumlu malzemelerin uygun oranlarda kullanımını ve doğru montaj sürecini kapsamaktadır. Yaşam Döngüsü Analizi (Life Cycle Analysis - LCA) yöntemi ile ürün tasarımında kullanılan malzeme, enerji ve üretim sürecinin eko-tasarım stratejisine göre uygunluğu test edilebilmektedir. Bu çalışmada, plastik bir su ısıtıcının yaşam döngüsü analizi ticari bir yazılım ile gerçekleştirilmiştir. Su ısıtıcısını meydana getiren bileşenlerin ağırlığı, üretildikleri malzeme ve üretim şekli belirlenerek toplam LCA değeri ve CO₂ salınım miktarı elde edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre mevcut tasarım üzerinde iyileştirmeler yapılarak nihai tasarım için LCA işlemi tekrarlanmıştır. İşlem sonucunda yaklaşık %20 oranında bir iyileştirme sağlandığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ekolojik tasarım, Yaşam döngüsü analizi, Sürdürülebilir tasarım

LIFE CYCLE ANALYSIS ACCORDING TO THE ECO-DESIGN STRATEGY OF A PLASTIC KETTLE

Abstract

With the development of technology and increasing welfare, new market needs and user expectations arise in the market. A newly developed product, while meeting the social and economic expectations of consumers, should play a role in the consumption culture. In the product design process, the use of recyclable materials should be prioritized by designers and engineers, taking into account the environmental effects of the product, and the principle of minimum waste should be adopted. Consumers should buy products with the awareness of sustainability. The sustainability of a product includes the use of environmentally eco-compatible materials at appropriate rates and the correct assembly process. With the Life Cycle Analysis (LCA) method, the suitability of the materials, energy and production process used in product design can be tested according to the eco-design strategy. In this study, life cycle analysis of a plastic kettle was carried out with a commercial software. By determining the weight of the components that make up the water heater, the material they are produced from and the production method, the total LCA value and CO₂ emission amount were obtained. According to the analysis results, improvements were made on the existing design and the LCA process was repeated for the final design. It was determined that an improvement of approximately 20% was achieved as a result of the process.

Keywords: Ecological design, Life cycle analysis, Sustainable design

1. Giriş

20. yüzyılda sanayinin gelişimiyle birlikte teknolojik faaliyetler hız kazanmış ve daha çok teknolojik ürün geliştirilmeye başlanmıştır. Bu süreçte, kullanılan toksik madde ve kaynaklar ile üretilen atıklar önemli bir çevresel problemi doğurmuştur. Ürün geliştirme sürecinde ortaya çıkan yan etkiler, ekosistem ve insan sağlığı üzerinde tehlike oluşturmaktadır [1-3]. Artan refah seviyesiyle birlikte yeni bir üründen beklenen nitelik ve hedefler değişiklik gösterebilmektedir. Geliştirilen tasarım, belirlenen ihtiyaçlara cevap vermesinin yanı sıra, yeni bir pazar ihtiyacı doğurmalı ve insanlar üzerinde

sürdürülebilirlik bilinci oluşturmalıdır. Ürün, eko-tasarım prensipleri doğrultusunda bir imaj ve arzu meydana getirmelidir [4, 5].

Ürün tasarımcılarının evrensel tasarım kavramı ile sosyal adalet ve sürdürülebilirlik üzerinde önemli bir etkisi vardır. Evrensel tasarım, ürün kullanım senaryosunda ayrıştırıcı bir anlayıştan ziyade herkese hitap eden eşitlikçi bir tasarımı savunmaktadır. Ürün hizmet sürecinde, ürünün erişilebilirlik ve anlaşılabilirliği herkes için tasarım anlayışı ile geliştirilmiş olmalıdır [6, 7].

Ekolojik bir ürün tasarımında, sosyal, ekonomik ve ekolojik sürdürülebilirlik kavramları birbirinden bağımsız olarak düşünülmemelidir. Ekolojik olarak sürdürülebilir bir ürün ekonomik bir fayda sağlarken, ürünün ekonomik açıdan sürdürülebilmesi de sosyal sürdürülebilirlik ve adaleti oluşturmaktadır. Kaynakları adaletli bir şekilde bölüşen toplum ekonomik ve ekolojik sürdürülebilirliği mümkün hale getirmektedir. Dolayısıyla bu kavramlar, birbiri ile iç içe olan bir döngü içerisinde [8]. Ekonomik gelir seviyesi daha düşük olan bölgede yaşayan halkın istekleri tespit edilerek yerel yöneticilere ulaştırılması ve ürün tasarımında göz önünde bulundurulması, tasarımcı ve mühendislerin sosyal adalet çerçevesi üzerindeki etkilerindedir.

Sürdürülebilir bir ürün tasarımı geliştirilmesinde, çevresel açıdan eko-uyumlu malzemelerden üretilmiş bileşenler ile ürün montajı gerçekleştirilmelidir. Kullanılan malzemelerin eko-uyumluluğunun yanı sıra, hangi oranlarda kullanıldığı da çevresel sürdürülebilirliği etkilemektedir [9].

Eko-tasarım kavramı, çevresel faktör ve tasarımı farklı yönlerini birleştirmektedir. Eko-tasarım, bir ürünün sürdürülebilirliği en üst seviyede tutarak yaşam döngüsü prensibi çerçevesinde sosyal ve ekonomik ihtiyaçların giderilerek çevresel olumsuzlukların minimize edilmesidir [10]. Mevcut çevresel koşullara nesillerin ulaşmasını engellemeden sürdürülebilir bir akıllı sistemin yaratılması durumu eko-tasarım olarak tanımlanmıştır [11]. Kaynaklar sömürülmeden, kurumsal ve teknik bilincin gelişiminin sağlanması, ihtiyaçların dengelenmesi ve sürdürülebilir kalkınmanın oluşturulması gereklidir [12].

Eko-tasarım stratejisini benimseyen şirketlerde malzeme listeleri siyah, beyaz ve gri olarak ayrılmaktadır. Siyah listede çevresel uyumu düşük olan yasak malzemeler sıralanırken, beyaz listede kullanılması uygun malzemeleri bulunmaktadır. Gri liste ise siyah listeye oranla nispeten daha uygun malzemelerin sıralamasını içermektedir [4]. Listedeki malzemelerin bir üründe kullanılması durumundaki ekolojik davranışlarıyla

ilgili bilgi edinmek mümkün değildir. Bunun için birden fazla malzemedeki bileşenlerinin incelenmesi gereklidir [13].

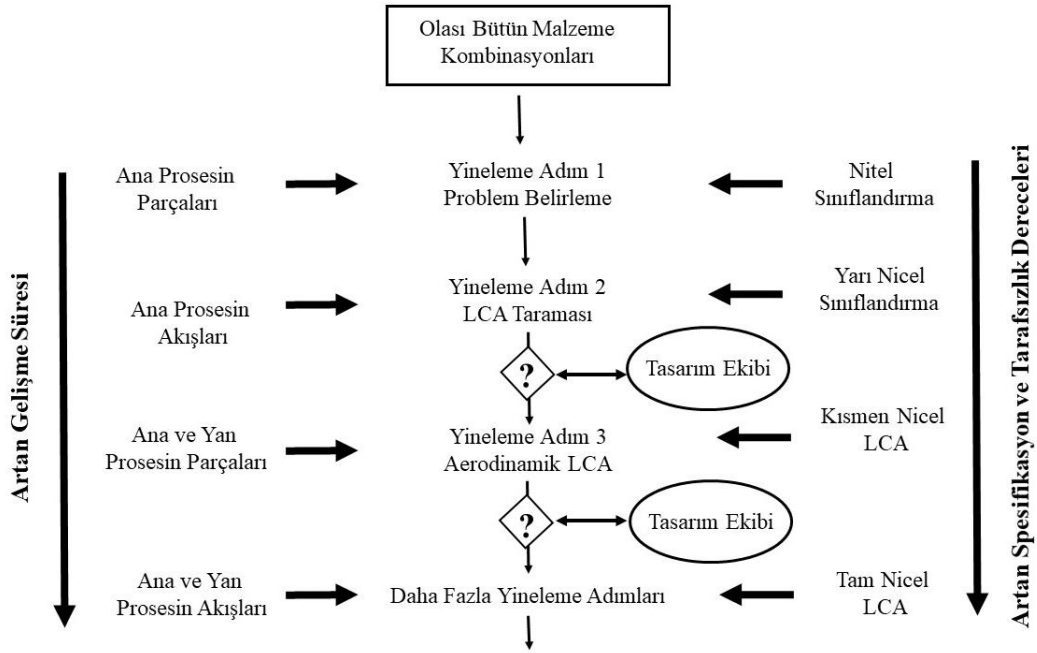
Eko-ürün geliştirme aşamasında çevresel etkilerin tasarım sürecine dahil edilebilmesi için uzman sistemler ile entegre edilmiş farklı araçlar geliştirilmiştir. Bu araçlar, belirli bir sektörden ziyade geniş kapsamlı bir ürün yelpazesine hitap etmektedir [14-16]. Avrupa Birliği'nin eko-tasarım çalışma planları kapsamında, bu çalışmaya dâhil edilen yüksek enerji potansiyeline sahip ürünlerle ilgili bilgi ve analizler sunulmaktadır. 2012-2014 yılları arasında bu planlar doğrultusunda incelenen otuz altı ürün grubunun arasında elektrikli su ısıtıcıları on üçüncü sırada bulunmaktadır [17].

Bu çalışmada, plastik bir su ısıtıcısını meydana getiren bileşen ve malzemeler belirlenerek ticari bir Yaşam Döngüsü Analizi (Life Cycle Analysis – LCA) yazılımı ile su ısıtıcısının ekolojik tasarım stratejisine uygunluğu değerlendirilmiştir. Analiz sonucu elde edilen veriler ile mevcut su ısıtıcısı tasarımı ve üretim sürecinde kullanılan malzemelerde iyileştirmeler yapılmıştır. Revize edilen su ısıtıcı tasarımının LCA uygulaması yinelenerek elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

2. Yaşam Döngüsü Analizi

LCA, ürün tasarımı aşamasında süreç, malzeme ve enerji ile ilgili uygulamaların yeşil pazar stratejisine göre düzenlenmesi için kullanılan bir yöntemdir [18]. Eko-tasarım stratejisi sürecinde kullanılarak çevresel anlamda etkili sonuçların elde edilmesini sağlamaktadır. Tasarlanacak ürünün belirlenen ihtiyaç listesi veya tasarım şartnamesine uygun olarak geri dönüşüm sorunlarını çözme sürecinde LCA yönteminden faydalanılmaktadır.

LCA yöntemini tasarım sürecine dâhil etmek amacıyla üç aşamalı bir yaklaşım izlenmesi gerektiği belirtilmiştir [19]. Fikir aşamasından konsept oluşturma süreci ve ilk prototipin elde edilmesine kadar geçen süreçte bu adımlar uygulanmalıdır (Şekil 1).



Şekil 1. Eko-tasarım sürecinde yaşam döngüsü değerlendirmesi [19]

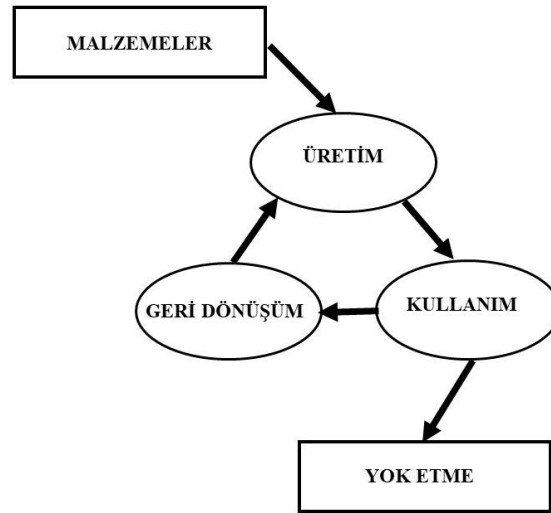
Yaşam döngüsü analizinin ilk aşamasında kullanılan malzemenin ağırlığı, enerji tüketim miktarı vb. gibi sayısal veriler yerine, tasarlanacak olan ürünün/sistemin nitel özellikleri ele alınır. Ürünün çıkış noktasındaki temel problemler ve tasarım şartnamesinin vazgeçilmezleri belirlenir. Değerlendirmenin ikinci aşamasında ise üretim sürecinde kullanılan malzeme ve atık madde miktarı, mevcut kaynakların kullanımı gibi yarı nicel sayılabilecek nitelikler tanımlanmaktadır. Üçüncü aşamada ise asidifikasyon ve küresel ısınma potansiyeli gibi bilgiler ele alınmaktadır [19].

Nitelik ve nicelik bakımından çevresel sürdürülebilirlik kriterlerine uygun bir ürün geliştirebilmek adına LCA araçları eko-tasarım stratejisi ile ortak bir noktada kesişmelidir. Bu süreçte ürün tasarımcısı, projeyi LCA işlem adımlarına uygun hale getirmek adına belli çevresel göstergeleri kullanmalı, ürünü oluşturan malzemelerin geri dönüştürülebilirlik özelliklerini dikkate almalı ve gerekli iyileştirmeleri bilgisayara destekli tasarım (CAD) aşamasında sağlamalıdır [20].

Uluslararası Standartlar Örgütü'nün (ISO) tanımına göre bir ürünün kullanım ömrü süresinde tüm girdi ve çıktılarının çevresel etkilerinin belirlenmesi için yapılan sistematik çalışmalara LCA denilmektedir [21]. Ürünün kavramsal tasarımı, imalat ve montaj süreçleri, dağıtım aşaması, kullanımı ve sonrasında yeniden kullanılıp geri dönüşümü adımları LCA adımlarını kapsamaktadır [22]. Bu süreçte, kullanıcının

davranışlarının yönlendirmesi de tasarımcı sorumluluğundadır. Ürünün farklı alternatiflere dönüşümü, kullanımını tamamlanmasından sonra ürünün nasıl yok edileceği gibi süreçlerde kullanıcıya bir yol çizilmesi ürünün sürdürülebilirliğine katkı sağlamaktadır. Bir ürünün LCA aşamaları Şekil 2’de verilmiştir. Yapılan çalışmalara bakıldığında kullanım süresinin planlanmasının genel yaşam döngüsüne %50-80 oranında katkı sağladığı tespit edilmiştir [23, 24].

Fonksiyonel, imal edilebilir, ekonomik ve aynı zamanda çevresel etkileri minimize edilmiş bir ürün tasarımı süreci için farklı araç ve yazılımlar geliştirilmiştir. Ürünü veya sistemi meydana getiren tüm bileşenlerin malzeme ve üretim adımları düzenlenerek LCA değeri ve CO₂ salınım miktarları üretim öncesi süreçlerde ve sonrasında analiz edilebilmektedir. Bu amaçla kullanılan yazılımlar arasında Gabi, ECO-it, SimaPro, EIME, Umberto vb. yazılımlar bulunmaktadır [25].



Şekil 2. Yaşam döngüsü analizi süreci [26]

3. Plastik Su Isıtıcısının Yaşam Döngüsü Analizi

Bu çalışma kapsamında, plastik bir su ısıtıcısının LCA gerçekleştirilmiş ve çevresel etkileri değerlendirilerek tasarımda düzenlemeler yapılmıştır. Plastik su ısıtıcısı üretim, kullanım ve kullanım ömrü/yok edilme başlıkları altında ayrı olarak ele alınmış ve bu safhaların hangisinde potansiyel fayda elde edildiği belirlenmiştir.

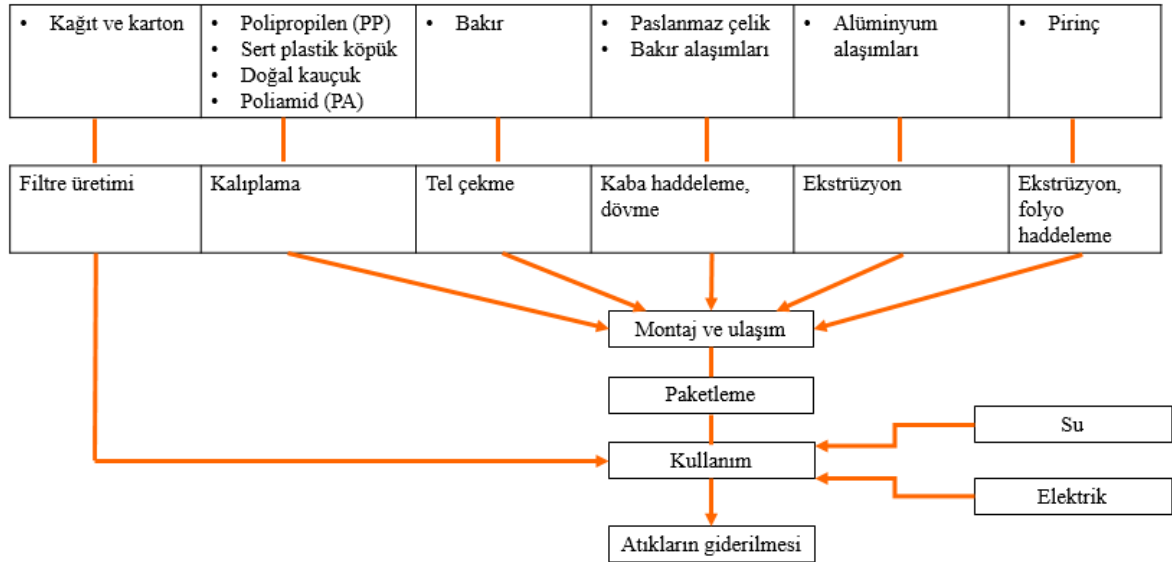
Su ısıtıcılarında, ısıtıcı gövdesi, açma-kapama mekanizması, ısıtma işlemi için rezistans, ısı kontrolü sağlayan bir termostat ve sinyal lambası bulunmaktadır. Gövde içerisindeki su ısındığı zaman oluşan buhar ile birlikte termostata basınç uygulayarak

ısıtıcının devre dışı kalmasını sağlamaktadır. Su ısıtıcısında sisteminin çalışmasını sağlayan ısıtıcısı gövdesi, ısıtma elemanı, iç yalıtım sistemi, termostat fiş gövdesi fiş pimleri, kablo kılıfı, kablo çekirdeği bileşenleri bulunmaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. Plastik bir elektrikli su ısıtıcısının bileşenleri [27]

Plastik bir su ısıtıcısını oluşturan bu bileşenlerin üretim şekli ve su ısıtıcısının ürün yaşam döngüsü şeması Şekil 4’te verilmiştir.



Şekil 4. Su ısıtıcı yaşam döngüsü

Su ısıtıcısı bileşenleri, bu bileşenlerinin üretildiği malzeme ve ağırlık değerleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Su ısıtıcısını meydana getiren bileşen ve malzemeler

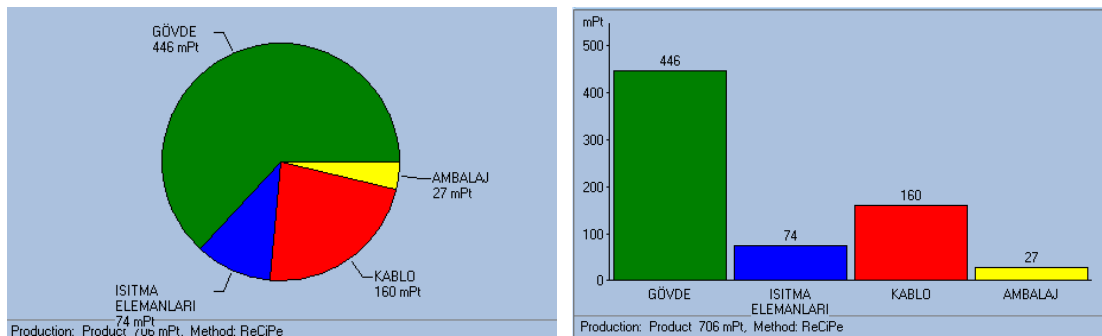
Bileşenler	Malzeme	Ağırlık
GÖVDE		
Dış gövde	Polipropilen (PP)	0,86 kg
İç yalıtım	Alüminyum alaşımları	0,03 kg
ISITMA ELEMANLARI		
Rezistans	Paslanmaz çelik	0,09 kg
Termostat	Bakır alaşımları	0.02 kg
KABLO		
Kablo kılıfı (1 m)	Doğal kauçuk	0.06 kg
Kablo çekirdeği (1 m)	Bakır	0.015 kg
Fiş gövdesi	Poliamid (PA)	0.037 kg
Fiş pimleri	Pirinç	0.03 kg
AMBALAJ		
Paketleme	Sert plastik köpük	0.015 kg
Ambalaj	Kâğıt ve karton	0.125 kg
TOPLAM		1,282 kg

Mevcut plastik su ısıtıcısının gövdesinin tamamı sert ve ısıya dayanıklı bir plastik olan polipropilen (PP) malzemedен enjeksiyon kalıplama yöntemi ile üretilmiştir. Gövde ağırlığı yaklaşık 0,9 kg'dır. PP, mutfak eşyalarının üretiminde sıklıkla kullanılan ve aynı zamanda düzenli atılan plastikler arasındadır. Su ısıtıcısı termostatı paslanmaz çelik malzemedен, iç yalıtımı ise alüminyum alaşımlardan üretilmiştir. Isıtıcının kablo kısmı yüksek oranda doğal kauçuk malzemedен meydana gelmektedir. Su ısıtıcısının üretim aşamasında kullanılan tüm bileşenlerin malzeme ve üretim adımları sonuçlarına ilişkin LCA değeri ve CO₂ salınım oranı Tablo 2'de verilmiştir.

Su ısıtıcısı bileşenleri; gövde (dış gövde ve iç yalıtım), ısıtma elemanları (termostat ve rezistans), kablo bölümü (kablo kılıfı, kablo çekirdeği, fiş gövdesi ve fiş pimleri) ve ambalaj (ambalaj ve paketleme) olarak dört bölüme ayrılmıştır. Bu bölümlerin LCA değeri oranları Şekil 5'te verilmiştir.

Tablo 2. Mevcut su ısıtıcısı LCA değeri ve CO₂ salınım miktarı

Üretim	Oran	Birim	mPt	kg CO ₂ -eq
ÜRÜN (TOPLAM)	1	adet	706	4,7
GÖVDE	1	adet	446	3
Dış Gövde	1	adet	427	2,8
PP	0,86	kg	301	1,7
Enjeksiyon Kalıplama	0,86	kg	126	1,2
İç Yalıtım	1	adet	18	0,21
Alüminyum Alaşımları	0,03	kg	15	0,18
Ekstrüzyon	0,03	kg	3,1	0,031
ISITMA ELEMANLARI	1	adet	74	0,56
Rezistans	1	adet	65	0,5
Paslanmaz Çelik	0,09	kg	61	0,47
Haddeleme	0,09	kg	3,7	0,032
Termostat	1	adet	8,9	0,061
Bakır Alaşımları	0,02	kg	5,8	0,037
Haddeleme	0,02	kg	3,1	0,024
KABLO	1	adet	160	0,91
Kablo Kılıfı (1 m)	1	adet	39	0,29
Doğal Kauçuk	0,06	kg	31	0,2
Kalıplama	0,06	kg	8,8	0,09
Kablo Çekirdeği (1 m)	1	adet	53	0,17
Bakır	0,04	kg	43	0,081
Tel Çekme	0,04	kg	10	0,086
Fiş Gövdesi	1	adet	40	0,37
PA	0,037	kg	34	0,32
Kalıplama	0,037	kg	5,4	0,05
Fiş Pimleri	1	adet	28	0,082
Pirinç	0,03	kg	28	0,077
Haddeleme	0,03	kg	0,5	0,005
AMBALAJ	1	adet	27	0,19
Ambalaj	1	adet	18	0,12
Kâğıt ve karton	0,125	kg	18	0,12
Paketleme	1	adet	8,5	0,064
Sert plastik köpük	0,015	kg	8,5	0,064



Şekil 5. Su ısıtıcısı bileşenleri LCA değeri oranları

Ele alınan plastik su ısıtıcısı 2400 watt elektrik gücü ile çalışmaktadır. Isıtıcının enerji tüketimi sonucu kullanım sürecindeki LCA değeri Tablo 3'te belirtilmiştir.

Tablo 3. Su ısıtıcısı bileşenleri kullanımı

Kullanım	Oran	Birim	mPt
ÜRÜN	1	adet	14
Elektrik	2,4	kWh	14

Su ısıtıcısını meydana getiren bileşenlerin kullanım ömrünü tamamlama durumları, geri dönüşüm oranları ve hangi malzemenin belediye atığına dönüştüğü ya da depolandığıyla ilgili tahmini ve yaklaşık oranlar Tablo 4'te belirtilmiştir.

Tablo 4. Su ısıtıcısı bileşenleri kullanım ömrü oranları

Üretim	Belediye	Ev	Geri Dönüşüm	mPt
ÜRÜN (TOPLAM)	% 100	%0	%0	45
Gövde	%80	%0	%20	34
Isıtma elemanları	%60	%0	%40	0,78
Kablo	%100	%0	%0	5,6
Ambalaj	%80	%0	%20	4,8

Plastik su ısıtıcısının LCA sonuçları ve kullanım senaryosundaki kullanıcı ihtiyaçları analiz edilerek ürünün tasarımı ve kullanılan malzemelerle ilgili bir takım iyileştirmeler planlanmıştır. Mevcut su ısıtıcısının LCA değerlendirmesinde gövde malzemesi olan PP yerine, LCA değeri daha düşük olan Polivinil klorür (PVC) kullanılması öngörülmüştür. İç yalıtımda kullanılan alüminyum alaşımlarının eski hurdalık malzemelerden geri dönüştürülmüş alaşımlarla, kablo kılıfının doğal kauçuk yerine geri dönüştürülebilir oranın daha yüksek olan sentetik kauçukla, fiş gövdesinin ise geri dönüşümü zor olan PA yerine PVC malzeme ile değiştirilmesi planlanmıştır. Rezistans için düşük alaşımlı çelik kullanılmıştır. Taze liften oluklu mukavvadan üretilen ambalaj yerine, geri dönüşümlü liften oluklu mukavvanın kullanımı öngörülmüştür.

Fonksiyon, biçim ve kullanım aşamasında yapılan iyileştirmeler ise ısı ayarı ekleme ve tek bardaklık kullanım ölçüsünü ayarlayabilmedir. Kullanılmakta olan su ısıtıcılarında su kaynama noktasına gelene kadar ısıtılmaktadır. Ancak bitki çayı ve kahve içimi amacıyla su ısıtılması durumunda, kullanıcılar suyun içime uygun olarak daha düşük derecede ısınmasını tercih edebilmektedir. Su ısıtıcısına farklı derecelerde ısıtma özelliği eklenerek hem kullanıcıya tercih hakkı bırakılabilir hem de ısıtıcının daha kısa süre çalışması sağlanarak daha az enerji tüketilir. Bu iyileştirme ile birlikte; harcanan

enerji ve suyun istenilen sıcaklığa gelme süresi azalırken, işlevsellik artar ancak maliyet artışı da söz konusu olabilir.

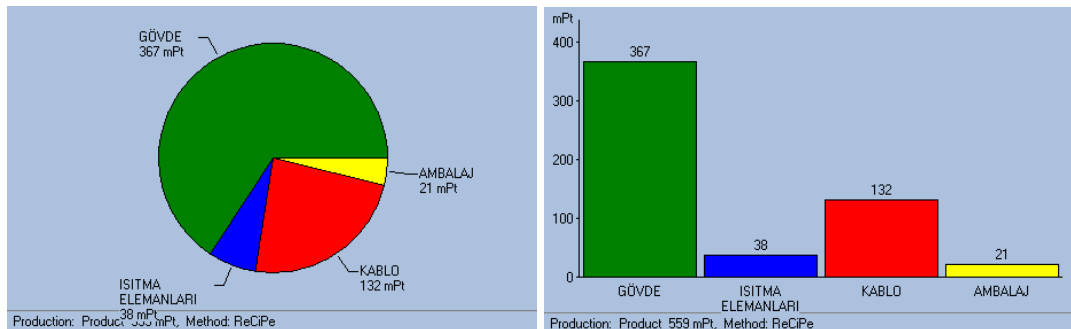
Su ısıtıcılarının kullanım durumunda genellikle istenilen miktardan daha fazla su ısıtılmakta ve ısıtıcı içerisinde kalan su soğumaktadır. Bu durum ısıtıcının gerekenden daha uzun süre çalışmasına sebep olmakta ve yaklaşık %80 oranında enerji boşa kaybedilmektedir. Su ısıtıcısına ihtiyaç durumuna göre kullanıcıya su miktarını bardak olarak belirten bir gösterge eklenerek suyun daha kısa sürede ve daha az enerji kullanılarak ısıtılması sağlanabilir. Belirlenen bu problem ve ihtiyaçlar doğrultusunda oluşturulan konsept tasarım görseli Şekil 6’da verilmiştir.



Şekil 6. Revize edilen tasarım görseli

Analiz sonuçlarına göre iyileştirme sağlanan yeni plastik su ısıtıcısı tasarımı için LCA değerlendirmesi aynı araç üzerinde tekrarlanmış ve üretim adımları LCA değerleri ve CO₂ salınım oranları ise Tablo 5’te verilmiştir. Su ısıtıcısı bileşenleri (gövde, ısıtma elemanları, kablo bölümü ve ambalaj) LCA değeri oranları ise Şekil 7’de gösterilmiştir.

Mevcutta elektrik güç tüketimi 2400 watt olan elektrikli ısıtıcının gücü, revize edilen tasarımda 1600 watt olarak düzenlenmiştir. Buna göre elde edilen kullanım değeri Tablo 6’da verilmiştir.



Şekil 7. Revize edilen su ısıtıcısı bileşenleri LCA değeri oranları

Tablo 5. Revize edilen su ısıtıcısı LCA değeri ve CO₂ salınım oranları

Üretim	Oran	Birim	mPt	kg CO ₂ -eq
ÜRÜN (TOPLAM)	1	adet	559	4
GÖVDE	1	adet	367	2,9
Dış Gövde	1	adet	359	2,8
PVC	0,86	kg	233	1,7
Enjeksiyon Kalıplama	0,86	kg	126	1,2
İç Yalıtım	1	adet	7,9	0,073
Alüminyum Alaşımları (Eski hurdalık)	0,03	kg	4,8	0,042
Ekstrüzyon	0,03	kg	3,1	0,031
ISITMA ELEMANLARI	1	adet	38	0,28
Rezistans	1	adet	29	0,22
Paslanmaz Çelik (Düşük alaşımlı)	0,09	kg	25	0,19
Haddeleme	0,09	kg	3,7	0,032
Termostat	1	adet	8,9	0,061
Bakır Alaşımları	0,02	kg	5,8	0,037
Haddeleme	0,02	kg	3,1	0,024
KABLO	1	adet	132	0,62
Kablo Kılıfı (1 m)	1	adet	35	0,25
Sentetik Kauçuk	0,06	kg	26	0,16
Kalıplama	0,06	kg	8,8	0,09
Kablo Çekirdeği (1 m)	1	adet	53	0,17
Bakır	0,04	kg	43	0,081
Tel Çekme	0,04	kg	10	0,086
Fiş Gövdesi	1	adet	15	0,12
PVC	0,037	kg	10	0,073
Kalıplama	0,037	kg	5,4	0,05
Fiş Pimleri	1	adet	28	0,082
Pirinç	0,03	kg	28	0,077
Haddeleme	0,03	kg	0,5	0,005
AMBALAJ	1	adet	21	0,19
Ambalaj	1	adet	13	0,12
Geri Dönüştürülmüş Kâğıt ve karton	0,125	kg	13	0,12
Paketleme	1	adet	8,5	0,064
Sert plastik köpük	0,015	kg	8,5	0,064

Tablo 6. Revize edilen su ısıtıcısı bileşenleri kullanımı

Kullanım	Oran	Birim	mPt
ÜRÜN	1	adet	9,2
Elektrik	1,6	kWh	9,2

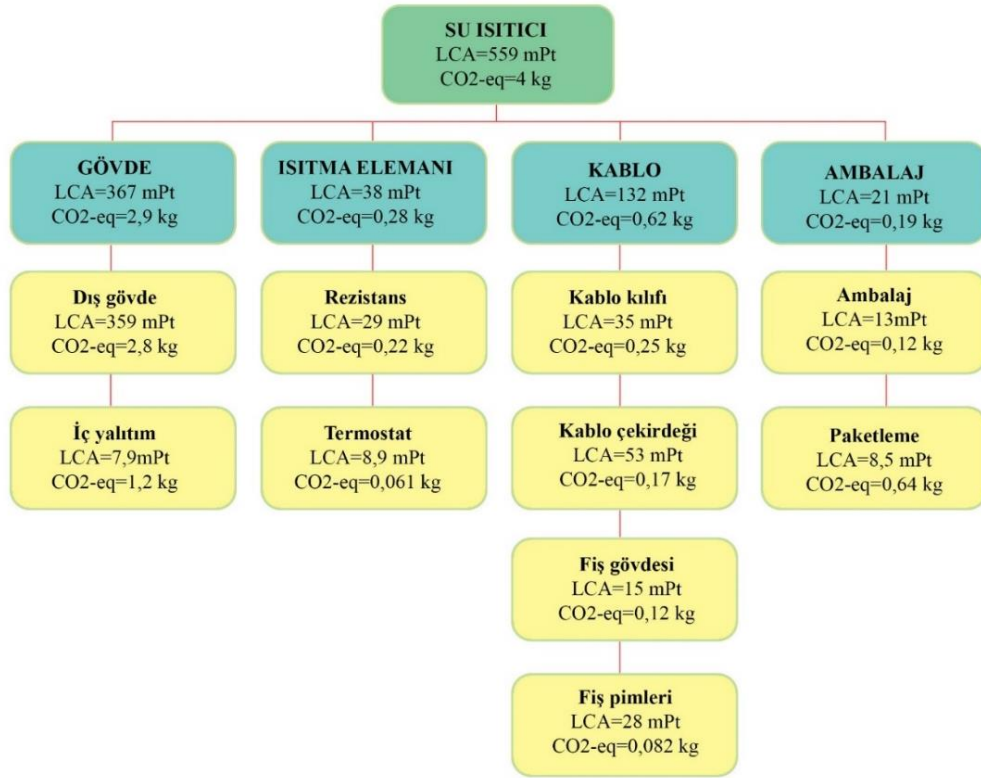
Revize edilen su ısıtıcısı tasarımına göre ürünü meydana getiren bileşenlerin kullanım ömrünü tamamlama durumları, geri dönüşüm oranları ve hangi malzemenin belediye atığına dönüştüğü ya da depolandığıyla ilgili yaklaşık ve tahmini oranlar Tablo 7’de belirtilmiştir.

Tablo 7. Revize edilen su ısıtıcısı bileşenleri kullanım ömrü oranları

Üretim	Belediye	Ev	Geri Dönüşüm	mPt
ÜRÜN (TOPLAM)	%100	%0	%0	45
Gövde	%20	%0	%80	34
Isıtma elemanları	%60	%0	%40	0,78
Kablo	%20	%0	%80	5,6
Ambalaj	%40	%0	%60	4,8

4. Sonuç ve Değerlendirmeler

Sürdürülebilir bir ürün tasarımı geliştirilmesinde, çevresel açıdan eko-uyumlu malzemelerden üretilmiş bileşenler ile ürün montajı gerçekleştirilmelidir. Kullanılan malzemelerin eko-uyumluluğunun yanı sıra tasarlanan ürün için hangi oranda kullanıldığı da çevresel sürdürülebilirliği etkilemektedir. LCA, eko-tasarım stratejisi sürecinde kullanılarak ürün tasarımı aşamasında malzeme, süreç ve enerji ile ilgili uygulamaların yeşil pazar stratejisine göre düzenlenmesi için kullanılan bir yöntemdir. Tasarlanacak ürünün belirlenen ihtiyaç listesi veya tasarım şartnamesine uygun olarak geri dönüşüm sorunlarını çözme sürecinde LCA yönteminden faydalanılmaktadır. Bu çalışmada, plastik bir su ısıtıcısının eko-tasarım stratejisi kapsamında LCA değerlendirmesi ticari bir yazılım kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler sonucunda mevcut su ısıtıcısı tasarımında ve üretim sürecinde kullanılan malzemelerde değişiklikler yapılmıştır. Değişiklikler sonucu revize edilen su ısıtıcı tasarımının yaşam döngüsü analizi yinelenerek elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Revize edilen tasarım LCA değeri ve CO₂ salınım miktarı Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 8. Revize edilen su ısıtıcısı LCA değerleri şeması

Mevcut su ısıtıcı tasarımında LCA değeri 706 mPt iken, revize edilen tasarımda 559 mPt'ye düşürülmüştür. Yaklaşık % 20 oranında bir iyileştirme sağlanmıştır. CO₂ gazı salınım oranlarına göre ise mevcut tasarımda 4,7 kg'lık bir salınım varken, revize edilen tasarımda 4 kg'a düşürülmüş ve yaklaşık %14'lük bir iyileştirme elde edilmiştir.

Kaynaklar

- [1] Bereketli I, Genevois ME. An integrated QFDE approach for identifying improvement strategies in sustainable product development. Journal of cleaner production, 2013;54:188-98.
- [2] Grübler A, Nakićenović N, Victor DG. Dynamics of energy technologies and global change. Energy policy, 1999;27:247-80.
- [3] Omer AM. Energy, environment and sustainable development. Renewable and sustainable energy reviews, 2008;12:2265-300.
- [4] Luttrupp C, Lagerstedt J. EcoDesign and The Ten Golden Rules: generic advice for merging environmental aspects into product development. Journal of Cleaner Production, 2006;14:1396-408.

- [5] Cooper T. Creating an economic infrastructure for sustainable product design. *Journal of sustainable product design*, 1999;7-17.
- [6] Bilici N, Pehlivanlı R, Demirkılınc S. *Innovation and Global Issues In Social Sciences Extended Abstracts Book*. 2017.
- [7] Rich P. Afrika'da Sürdürülebilir Yaklaşımlar Arayışında Bir Mimar: Peter Rich Mimarlıkta Çağdaş Söylenceler. *Mimarist*. 2014;50:1-51.
- [8] Bozkurt M. İnternet: <https://xxi.com.tr/i/sosyal-adalet-icin-sosyal-icerik-uzerinden-uretmek>. Erişim Tarihi: 14.10.2020.
- [9] Allione C, De Giorgi C, Lerma B, Petrucci L. From ecodesign products guidelines to materials guidelines for a sustainable product. Qualitative and quantitative multicriteria environmental profile of a material. *Energy*, 2012;39:90-9.
- [10] Charter M, Tischner U. *Sustainable solutions*. London: Routledge. 2001.
- [11] World Commission on Environment and Development (WCED). *Our common future*. London: Oxford University Press. 1987
- [12] Karlsson R, Luttrupp C. EcoDesign: what's happening? An overview of the subject area of EcoDesign and of the papers in this special issue. *Journal of cleaner production*, 2006;14:1291-8.
- [13] Lerma B, De Giorgi C, Allione C. *Design e materiali. Sensorialità_sostenibilità_progetto*. Milan: FrancoAngeli; 2011.
- [14] Casamayor JL, Su D. Integration of eco-design tools into the development of eco-lighting products. *Journal of Cleaner Production*, 2013;47:32-42.
- [15] Dewulf W. *A Pro-active Approach to Eco-design: Framework and tools*, PhD,Catholic University of Leuven, Belgium. 2003.
- [16] Vinodh S, Rathod G. Integration of ECQFD and LCA for sustainable productdesign. *Journal of Cleaner Production*. 2010;18;833-42.
- [17] Gallego Schmid A, Jeswani HK, Mendoza JMF, Azapagic A. Life cycle environmental evaluation of kettles: Recommendations for the development of eco-design regulations in the European Union. *Science of the Total Environment*, 2018;625:135-46.

- [18] Brezet H, Stevels A, Rombouts J. LCA for ecodesign: the Dutch experience. In Proceedings First International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing. IEEE. 1999.
- [19] Fleischer G, Schmidt WP. Iterative screening LCA in an eco-design tool. The International Journal of Life Cycle Assessment, 1997;2:20-4.
- [20] Cappelli F, Delogu M, Pierini M. Integration of LCA and EcoDesign guideline in a virtual cad framework. Proceedings of LCE. 2006;185-8.
- [21] Finkbeiner M. The international standards as the constitution of life cycle assessment: the ISO 14040 series and its offspring. In Background and Future Prospects in Life Cycle Assessment. Springer, Dordrecht. 2014.
- [22] Niemann, J. et al. : Design of Sustainable Product Life Cycles, Springer, Berlin 2009.
- [23] Di Sorrentino EP, Woelbert E, Sala S. Consumers and their behavior: state of the art in behavioral science supporting use phase modeling in LCA and ecodesign. The International Journal of Life Cycle Assessment, 2016;21:237-51.
- [24] Hertwich EG, Roux C. Greenhouse gas emissions from the consumption of electric and electronic equipment by Norwegian households. Environ Sci Technol 2011;45:8190-6.
- [25] Rio M, Reyes T, Roucoules L. A framework for ecodesign: an interface between LCA and design process. Annals of Faculty Engineering Hunedoara – International Journal of Engineering. 2011;9:121-6.
- [26] Product Design for the Enviroment. İnternet: <http://www.productdesignenvironment.info/concepts3.htm>. Erişim Tarihi: 11.11.2020.
- [27] Parts of a Kettle. İnternet: <https://karisimby.wordpress.com/2009/08/09/parts-of-a-kettle/>. Erişim Tarihi: 03.06.2020.