



**ÇEVRESEL ETKİNİN ZAMAN İÇERİSİNDEKİ
DEĞİŞİMİNİN YAŞAM DÖNGÜSÜ
ANALİZİYLE DEĞERLENDİRİLMESİ: BURSA
ORGANİZE SANAYİ BÖLGESİ SU ÜRETİM
TESİSİ ÖRNEĞİ**

Melike ORDU



T.C.

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ FEN

BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇEVRESEL ETKİNİN ZAMAN İÇERİSİNDEKİ DEĞİŞİMİNİN YAŞAM
DÖNGÜSÜ ANALİZİYLE DEĞERLENDİRİLMESİ: BURSA ORGANİZE
SANAYİ BÖLGESİ SU ÜRETİM TESİSİ ÖRNEĞİ**

Melike ORDU

Doç. Dr. Güray SALİHOĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2017

Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Melike ORDU tarafından hazırlanan “Çevresel Etkinin Zaman İçerisindeki Değişiminin Yaşam Döngüsü Analiziyle Değerlendirilmesi: Bursa Organize Sanayi Bölgesi Su Üretim Tesisi Örneği” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Güray SALİHOĞLU

Başkan : Doç. Dr. Güray Salihoğlu
Uludağ Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi,
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

Üye : Prof. Dr. Müfide Banar
Anadolu Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi,
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

Üye : Doç. Dr. Kamil Salihoğlu
Uludağ Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi,
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Ali BAYRAM

Enstitü Müdürü

15.02.2019 (Tarih)

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

01/2/2017

İmza

Melike ORDU

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ÇEVRESEL ETKİNİN ZAMAN İÇERİSİNDEKİ DEĞİŞİMİNİN YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİYLE DEĞERLENDİRİLMESİ: BURSA ORGANİZE SANAYİ BÖLGESİ SU ÜRETİM TESİSİ ÖRNEĞİ

Melike ORDU

Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Bölümü

Danışman: Doç. Dr. Güray SALİHOĞLU

Bu çalışmada, Bursa Organize Sanayi Bölgesi'nde yer alan işletmelere temin edilen proses suyunun konvansiyonel arıtma ve ileri arıtma üniteleri ile üretimi ele alınmış ve Yaşam Döngüsü Analizi (Life Cycle Assesment, LCA) yöntemi ile çevresel değerlendirmesi yapılmıştır. ISO 14040 Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Standartları'na uygun SimaPro 8.2.0 (Pre Consultants, Hollanda) yazılımı ile Bursa Organize Sanayi Bölgesi Su Üretim Tesisi 2012 ve 2016 yıllarına ait çevresel yükler karşılaştırılmıştır. Konvansiyonel arıtma ve ileri arıtma ünitelerinin çevresel etkileri, ReCiPe yöntemi ile belirlenmiştir. Yapılan çevresel etki değerlendirmesi sonuçlarına göre elektrik tüketimi ve kimyasal sarfiyatı temel etkenler olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Konvansiyonel Arıtma, İleri Arıtma, Yaşam Döngüsü Analizi (LCA), Proses Suyu, Organize Sanayi Bölgesi

2017, vii + 90 sayfa.

ABSTRACT
MSc Thesis

ASSESSMENT of THE CHANGES in ENVIRONMENTAL IMPACTS OVER TIME by
USING LIFE CYCLE ANALYSIS: BURSA ORGANIZED INDUSTRIAL ZONE
WATER TREATMENT PLANT CASE STUDY

Melike ORDU

Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Environmental Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Güray SALİHOĞLU

In this study, the production of process water supplied to the enterprises located in Bursa Organized Industrial Zone with conventional treatment and advanced treatment units was taken up and environmental assessment was carried out by Life Cycle Assessment (LCA) method. Bursa Organized Industrial Zone Water Production Facility Environmental loads for 2012 and 2016 are compared with SimaPro 8.2.0 (Pre Consultants, Netherlands) software which is appropriated with the ISO 14040 Life Cycle Assessment Standards. The environmental effects of conventional treatment and advanced treatment units were determined by the ReCiPe method. According to the results of the environmental impact assessment, electricity and chemical consumption were determined as main factors.

Keywords: Conventional Treatment, Advanced Treatment, Life Cycle Analysis (LCA), Process Water, Organized Industrial Zone

2017, vii + 90 pages.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim boyunca her türlü desteğini benden esirgemeyen, tez çalışmam süresinde bana yol gösteren saygıdeğer danışman hocam Doç. Dr. Güray SALİHOĞLU' na,

Tez çalışmamda bilgi birikimlerini bizlerle paylaşarak katkı sağlayan Anadolu Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Sayın Prof. Dr. Müfide BANAR' a ve Yrd. Doç. Dr. Zerrin GÜNKAYA' ya,

Çalışmanın veri toplama aşamasında bilgi ve belgelerini bizimle paylaşarak katkıda bulunan Bursa Organize Sanayi Bölgesi Su Üretim Tesisi Müdürlüğü'ne ve çalışanlarına,

Tez çalışmam boyunca ve tüm hayatım süresince maddi, manevi desteklerini hiçbir zaman benden esirgemeyen ve tüm hayallerimi gerçekleştirmeme yardımcı olan aileme, arkadaşlarıma, en içten teşekkürlerimi sunarım.

Şubat,2017

Melike ORDU

Çevre Mühendisi

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
KISALTMALAR DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	3
2.1.Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA).....	3
2.1.1. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Metodolojisi.....	7
2.2. LCA Uygulanan Çevresel Yatırımlar.....	15
2.3. LCA Uygulanan Su Arıtımı Yatırımları.....	21
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	31
3.1. Çalışma Alanı.....	31
3.1.1. Tesisin Üniteleri ve Akış Diyagramları.....	33
3.2. LCA Uygulaması.....	39
3.2.1. Hedef ve Kapsamın Belirlenmesi.....	39
3.2.2. Envanter Analizi.....	41
3.2.3. Etki Analizi.....	43
3.2.4. Yorumlama.....	44
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	45
4.1. BOSB Su Üretim Tesisi'nin Arıtma Performansı.....	45
4.2. BOSB Su Üretim Tesisine Ait Yaşam Döngüsü Envanterleri.....	50
4.2.1 BOSB Su Üretim Tesisi' nin 2012 Yılına Ait Yaşam Döngüsü Envanterleri.....	50
4.2.2.BOSB Su Üretim Tesisi'nin 2016 Yılına Ait Yaşam Döngüsü Envanterleri.....	53
4.3. Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirme Sonuçları.....	56
4.3.1 BOSB Su Üretim Tesisi'nin 2012 Yılına Ait Çevresel Yükü.....	56
4.3.2.BOSB Su Üretim Tesisi'nin 2016 Yılına Ait Çevresel Yükü.....	62
4.3.3. BOSB Su Üretim Tesisi 2012 ve 2016 Yıllarına Ait Çevresel Yüklerin Karşılaştırılması.....	69
5.SONUÇ.....	85
KAYNAKLAR.....	88

KISALTMALAR DİZİNİ

AAT	Atıksu Arıtma Tesisi
AB	Avrupa Birliği
AKM	Askıda Katı Madde
BOSB	Bursa Organize Sanayi Bölgesi
CE	Avrupa Uygunluk Belgesi (European Conformity)
EPD	Çevresel Ürün Beyanı (Environmental Product Declaration)
ISO	Uluslararası Standardizasyon Organizasyonu
KOI	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
LCA	Life Cycle Assessment
LC ₅₀	%50 öldürücü doz
ORT	Ortalama
OTBP	Ozon Tabakası Bozundurma Potansiyeli
REPA	Kaynak ve Çevresel Profil analizleri (Resource and Environmental Profile Analysis)
RO	Ters Osmoz (Reverse Osmosis)
SETAC	Çevresel Toksikoloji ve Kimya Birliği (Society of Environmental Toxicology and Chemistry)
SKTP	Su Kirliliği Toksikite Potansiyeli
TKTP	Toprak Kirliliği Toksikite Potansiyeli
UF	Ultrafiltrasyon
UNEP	Birleşmiş Milletler Çevre Programı
YDA	Yaşam Döngüsü Analizi
YDD	Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi
YDE	Yaşam Döngüsü Envanteri

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. LCA'nın kronolojik sıralaması	6
Şekil 2.2. Yaşam döngüsü değerlendirmesi safhaları	7
Şekil 2.3. Sistem sınırlarına ait özel isimlendirme.....	8
Şekil 2.4. Girdi ve çıktılar	9
Şekil 2.5. YDE aşamaları	10
Şekil 3.1. BOSB Su Üretim Tesisi akış diyagramı	32
Şekil 3.2. Fiziksel arıtma ünitesi akım şeması	33
Şekil 3.3. Biyolojik arıtma ünitesi akım şeması.....	34
Şekil 3.4. Kimyasal arıtma ünitesi akım şeması	36
Şekil 3.5. İleri arıtma ünitesi akım şeması	38
Şekil 3.6. 2012 ve 2016 yılı proses suyu üretimi LCA akım şeması	39
Şekil 3.7. Çalışmanın sistem sınırları.....	40
Şekil 3.8. Ecoinvent veri tabanının kategorileri ve alt kategorileri.....	41
Şekil 3.9. Etki Kategorileri ve Koruma Alanları ile İlişkisi.....	44
Şekil 4.1 BOSB Su Üretim Tesisi 2016 yılı KOİ giriş-çıkış değerleri ve giderim verimleri	46
Şekil 4.2. BOSB Su Üretim Tesisi 2016 yılı AKM giriş-çıkış değerleri ve giderim verimleri	47
Şekil 4.3. BOSB Su Üretim Tesisi 2016 yılı renk giriş-çıkış değerleri ve giderim verimleri	48
Şekil 4.4. BOSB Su Üretim Tesisi 2016 yılı İletkenlik giriş-çıkış değerleri ve giderim verimleri	49
Şekil 4.5. 1 m ³ proses suyu üretimi için LCA karakterizasyon sonuçları (2012 yılı).....	57
Şekil 4.6. 1 m ³ proses suyu üretimi için normalize edilmiş LCA sonuçları (2012 yılı) .	59
Şekil 4.7. 1 m ³ proses suyu üretimi LCA sonuçları – tek değer gösterimi (2012 yılı) ...	61
Şekil 4.8. 1 m ³ proses suyu üretimi için LCA karakterizasyon sonuçları (2016 yılı).....	63
Şekil 4.9. 1 m ³ proses suyu üretimi için normalize edilmiş LCA sonuçları (2016 yılı) .	65
Şekil 4.10. 1 m ³ proses suyu üretimi LCA sonuçları - single score gösterimi (2016 yılı)	67
Şekil 4.11. Fiziksel arıtma ünitelerinin karşılaştırılması-karakterizasyon grafiği.	70
Şekil 4.12. Fiziksel arıtma ünitelerinin karşılaştırılması-tek değer gösterimi.....	72
Şekil 4.13. Fiziksel arıtma ünitelerinin karşılaştırma üçgeni(2012-2016).....	72
Şekil 4.14. Biyolojik arıtma ünitelerinin karşılaştırılması-karakterizasyon grafiği	74
Şekil 4.15. Biyolojik arıtma ünitelerinin karşılaştırılması-tek değer gösterimi.....	75
Şekil 4.16. Biyolojik arıtma ünitelerinin karşılaştırma üçgeni(2012-2016).	75
Şekil 4.17. Kimyasal arıtma ünitelerinin karşılaştırılması-karakterizasyon grafiği.....	77
Şekil 4.18. Kimyasal arıtma ünitelerinin karşılaştırılması-tek değer gösterimi.....	59
Şekil 4.19. Kimyasal arıtma ünitelerinin karşılaştırma üçgeni(2012-2016).	78
Şekil 4.20. Ultrafiltrasyon sistemlerinin karşılaştırılması-karakterizasyon grafiği.	80
Şekil 4.21. Ultrafiltrasyon sistemlerinin karşılaştırılması-tek değer gösterimi.....	81
Şekil 4.22. Ultrafiltrasyon sistemlerinin karşılaştırma üçgeni(2012-2016).....	81
Şekil 4.23. Ters osmoz membran sistemlerinin karşılaştırılması-karakterizasyon grafiği	83
Şekil 4.24. Ters osmoz mebran sistemlerinin karşılaştırılması- tek değer gösterimi.....	84
Şekil 4.25. Ter osmoz membran sistemlerinin karşılaştırma üçgeni(2012-2016).	84

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Önemli kuruluşlar ve katkıları	5
Çizelge 2.2. Sık kullanılan etki kategorileri.....	12
Çizelge 2.3. Etki kategorilerine göre normalleştirme setleri.....	14
Çizelge 2.4. LCA Uygulanan Çevresel Yatırımlar	16
Çizelge 2.5. LCA uygulanan su arıtımı yatırımları.....	22
Çizelge 3.1. Normalleştirme seti.....	44
Çizelge 4.1. 1 m ³ proses suyu üretimi için konvansiyonel arıtma ve ileri arıtma kimyasal malzeme envanter verileri (2012)	50
Çizelge 4.2. 1 m ³ proses suyu üretimi için konvansiyonel arıtma ve ileri arıtma elektrik envanter verileri (2012).....	51
Çizelge 4.3. 1 m ³ proses suyu üretimi için konvansiyonel arıtma ve ileri arıtma taşıma envanter verileri (2012).....	52
Çizelge 4.4. 1 m ³ proses suyu üretimi için çamur envanterleri(2012).....	52
Çizelge 4.5. 1 m ³ proses suyu üretimi için konvansiyonel arıtma ve ileri arıtma kimyasal malzeme envanter verileri (2016).....	53
Çizelge 4.6. 1 m ³ proses suyu üretimi için konvansiyonel arıtma ve ileri arıtma elektrik envanter verileri (2016).....	54
Çizelge 4.7. 1 m ³ proses suyu üretimi için konvansiyonel arıtma ve ileri arıtma taşıma envanter verileri (2016)	55
Çizelge 4.8. 1 m ³ proses suyu üretimi için çamur envanterleri(2016).....	56

1. GİRİŞ

Çağımızda nüfusun artması ve sanayinin hızla gelişmesi ile birlikte bizlerin doğaya verdikleri zararlar giderek artmaya başlamıştır. Çevreye olan bu yıkıcı etkiler neticesinde doğa artık kendi kendini yenileyemez duruma gelmiştir. Üretimde sürdürülebilir olmayan yöntemlerin kullanımı ve ekonomik açıdan sürekli büyümenin hedeflendiği günümüz şartlarında, kalkınmanın sürdürülebilir olması pek mümkün değildir (Balpetek ve ark. 2012). Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Komisyonu 1987 yılında yayınladığı “Ortak Geleceğimiz Raporu”nda sürdürülebilirliği “İnsanlık, gelecek kuşakların gereksinimlerine cevap verme yeteneğini tehlikeye atmadan, günlük ihtiyaçlarını temin ederek, kalkınmayı sürdürülebilir kıılma” şeklinde tanımlamaktadır. Sürdürülebilirlik kavramı çevresel, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirlik olmak üzere üç temel esasa dayanmaktadır. Çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması açısından, enerji kaynaklarının sınırlı olması ve enerji ihtiyacına olan taleplerin giderek artması sonucu, insanlar yeni enerji kaynakları aramaya yönelmişlerdir. Aynı zamanda var olan enerji kaynaklarını en verimli şekilde kullanmanın yollarını aramaktadırlar. Ülkeler enerji kavramı altında çevreye dost, daha duyarlı politikalar bulmaya ve zorlayıcı önlemler almaya başlamıştır (Tüfekçi 2009).

Çevre politikalarına bağlı olarak teknolojiye ve hayatımızda olan gelişmeler sonucunda atılan her adımın maliyeti, verimi gibi geleneksel parametreleri dışında doğal kaynakların kullanımı, asidifikasyon, ötrofikasyon gibi küresel çevre sorunları da karar verme süreçlerinde ele alınan faktörlerdendir. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi 1990’lı yılların başından itibaren, karar verme süreçlerinde zamanla kullanımı yoğunlaşan ve tercih edilen bir yöntem haline gelmiştir (Demirer 2011). 1996’lı yıllarda Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi kavramının kapsamı TS EN ISO 14040/14049 serileriyle belirtilmiştir. Bu standartlara göre Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi çalışmaları, çevre boyutlarını ve üretimi, kullanım ve hammadde alımından bir ürünün ömrü boyunca (beşikten mezara) potansiyel etkilerini inceler şeklinde yapılmıştır. (Bayrak 2014).

LCA yaklaşımı, çalışma sınırlarının belirlenmesi, kullanılacak verilerin kalite ve güvenilirliği, bu verilerin analizinde kullanılan yaklaşımlar, çalışmayı yürüten kişi ve kuruluşların görüş açıları gibi farklılıklara bağlı olarak değişik sonuçlar verebilmektedir.

Çalışmada, Bursa Organize Sanayi Bölgesi Su Üretim Tesisi' nin 2012 ve 2016 yıllarına ait iç raporları baz alınarak gerçek veriler kullanılmıştır.

Bu tez çalışmasında, Bursa Organize Sanayi Bölgesi Su Üretim Tesisi'nin çevresel performansını iyileştirmek için gerekli kararlar almada SimaPro 8.2.0 (Pre Consultants, Hollanda) yazılımı kullanılarak yaşam döngüsü değerlendirme yöntemi (LCA) uygulanmıştır. Bu yöntem kullanılarak, Bursa Organize Sanayi Bölgesi Su Üretim Tesisi'nin çevresel açıdan iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Gerçekleştirilen çalışma, karar vericilere gelecekte doğru adımların atılması için yol gösterici nitelikte olacaktır.



2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1.Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA)

Sürdürülebilirlik kavramı ile birlikte artan çevre bilincine istinaden endüstrilerde ve çeşitli iş kollarında, yapılan faaliyetlerin çevreye ve topluma olan etkileri göz önüne alınmıştır. Ürünlerin ve proseslerin çevresel etkilerinin önem kazanması ile birlikte, bu faaliyeti gerçekleştiren kurumlar çevresel etkileri minimize etmenin yollarını aramaya başlamışlardır.

Bir ürünün hammaddenin çıkarılmasından başlayarak, tüm proseslerde işlenmesi, sevkiyata hazır hale getirilmesi, taşınması, kullanımı, geri dönüştürebilmesi, belirli işlemlerden geçirildikten sonra yeniden kullanılması, geri dönüşümünün mümkün olmadığı durumlarda atık olarak atılmasına kadar olan sürece yaşam döngüsü adı verilmektedir (Öztürk 2012).

Yaşam Döngüsü Analizi bir ürün ya da proses eldesi sürecinde kullanılan enerji, su ve diğer hammaddeler ile doğal kaynaklar gibi girdiler ve bu girdilerin işlenmesi sonucu ortaya çıkan çevresel emisyonların bir envanterinin çıkartılmasını kapsar. Aynı zamanda bu girdi/çıktılar ile ilişkili olarak meydana gelebilecek olası çevresel etkilerin değerlendirilmesi ve sonuçların karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmesi sonrasında karar vericilere sunulmasını kapsar.

Bahsi geçen bu aşamaları şu şekilde sıralayabiliriz:

1. Amaç ve Kapsam: Bu aşamada çalışmanın amacı, kapsamı ve sistem sınırları (beşikten mezara vb.) tanımlanır.
2. Envanter Analizi: Bu aşamada seçilen amaç ve sistem sınırları kapsamında gerçekleşecek enerji, su, hammadde girdileri ve bunlara bağlı çevresel emisyon çıktıları belirlenir.
3. Etki Analizi: Bu aşamada envanter analizi aşamasında belirlenen girdi ve çıktıların insan sağlığı (toksikite vb.) ve çevresel değerler (küresel ısınma potansiyeli, asidifikasyon vb.) üzerindeki olası etkileri değerlendirilir.
4. Yorumlama: Bu aşamada envanter analizi ve etki analizi aşamalarının sonuçları dikkate alınarak sistematik bir karşılaştırma gerçekleştirilir. Tercih

edilecek ürün ya da proses seçilir. Burada tercih edilen seçimler ve mevcut belirsizlikler açık bir şekilde belirtilir (EPA 2006).

Çalışmalar yaşam döngüsünün hangi aşamasında yapıldığına bağlı olarak özel isimlerle gruplandırılabilir. Burada bahsi geçen isimler “beşikten mezara”, “beşikten kapıya”, “beşikten beşiğe” ve “kapıdan kapıya”dır.

- Beşikten Mezara: Bir ürün ya da prosesin hammadde eldesinden başlayarak oluşan atıkların bertarafına kadar geçilen süreçleri içermektedir.
- Beşikten Kapıya: Bir ürün ya da prosesin hammadde eldesinden başlayarak fabrikaya iletiildiği süreçleri içermektedir. Burada yaşam döngüsünü kısmen kapsamaktadır diyebiliriz.
- Beşikten Beşiğe: Bir ürün ya da prosesin hammadde eldesinden başlayarak oluşan atıkların bertarafına kadar geçilen sürece ilave olarak bu oluşan atıkların geri kazanımı da sürece dâhil edilirse “beşikten beşiğe” yaklaşımı söz konusu olur.
- Kapıdan Kapıya: Bir ürün ya da prosesin seçilen tek bir aşamasını içermektedir (Demirer 2011).

Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi, kullanıcılar tarafından çeşitli amaçlar için kullanılmıştır. Sürdürülebilirliğin üç temel esasına göre bu amaçları sıralayacak olursak;

- Ekonomik açıdan, üretimde performansların iyileştirilmesi, üretimde verimliliğin artışı, sürdürülebilir yatırımlar, risk analizleri gibi faydalar sağlamaktadır.
- Çevresel açıdan, üretimde çevresel etkilerin azaltılması, yeniden kullanılabilir, geri dönüştürülebilir ürünler tasarlamak, sera gazı salınımlarının ve küresel ısınmaya olan etkilerin azaltılması, Sürdürülebilir üretim gibi faydalar sağlamaktadır.
- Sosyal açıdan ise, tedarikçilere, müşterilere ürünlerin çevresel profilleri hakkında bilgi vermek, marka stratejisi, pazarlama ve reklam gibi faydalar sağlamaktadır (Çokaygil 2005).

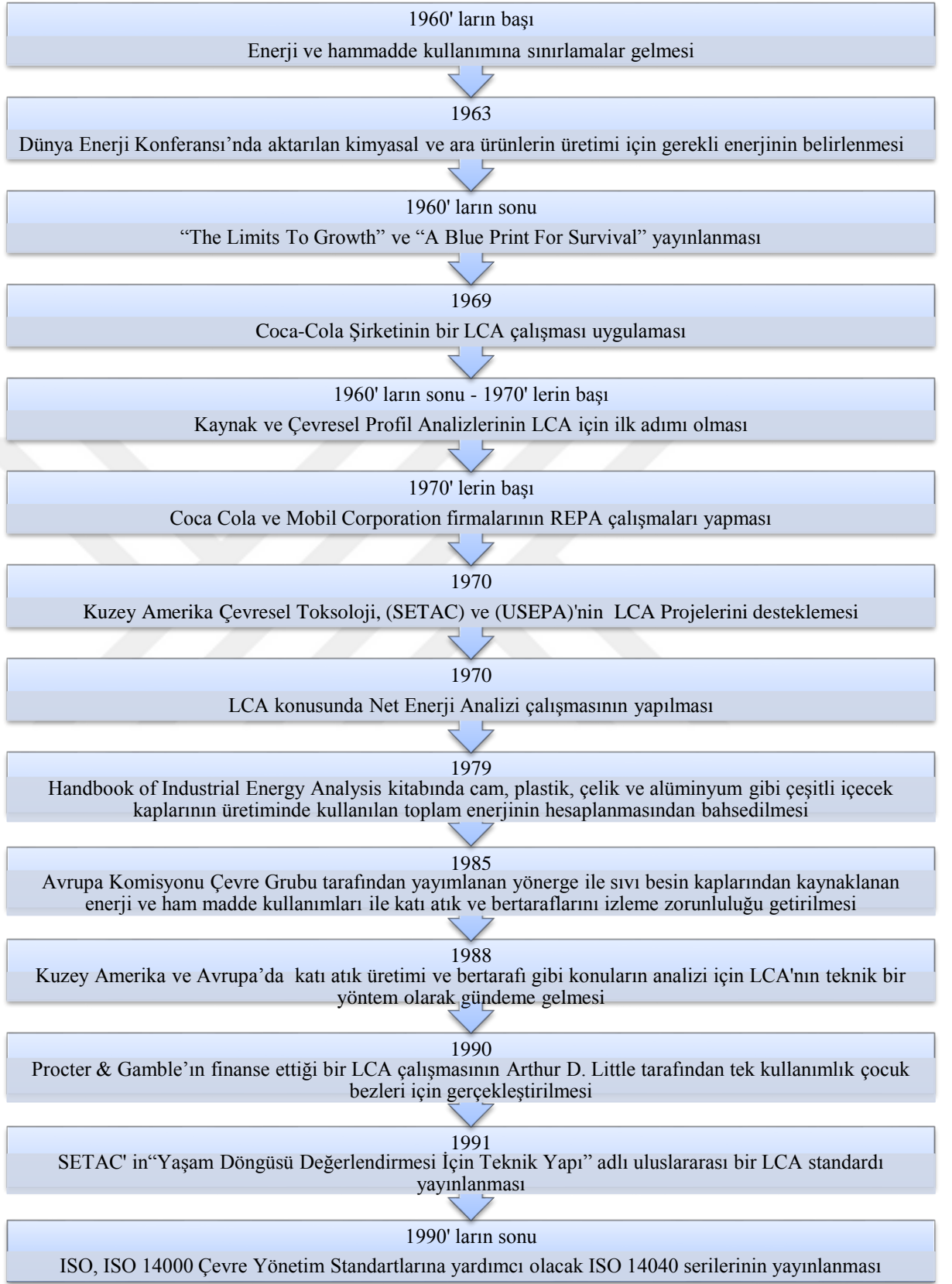
Geçmiş yıllardan bu yana araştırılan yaşam döngüsü analizi, çevre yönetimi alanının temel konulardan biridir. Önceki yıllarda Kaynak ve Çevre Profil Analizi (Resource and Environmental Profile Analysis), Ürün Eko-denge analizi (Product Ecobalance) gibi

isimlerle literatürde anılmıştır. Yaşam döngüsü analizi konusunda büyük role sahip bazı kuruluşlar yapmış oldukları katkılar ile birlikte Çizelge 2.1.' de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. Önemli kuruluşlar ve katkıları (Demirer 2011)

Kurum Adı	YDD Alanında Yapmış Oldukları Katkılar
SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry - Çevre Toksikoloji ve Kimya Örgütü)	*Kuzey Amerika ve Avrupa'da YDA metodolojisinin geliştirilmesi konusunda bilimsel toplantılar organize etmek, *Brüksel'de YDA ile yapılan çalışmaların değerlendirildiği toplantılar düzenlemek
ISO (International Organization for standardization - Uluslararası standardizasyon Örgütü)	*14001 Çevre Yönetim Sistemleri standartları arasına YDA'ya ilişkin 14040 serisi geliştirmek, *SETAC ile birbirini destekleyen çalışmaları ile YDA'nın içerdiği belirsizlikleri önemli seviyede azaltmak, *YDA'nın Uluslararası düzeyde kabul edilebilir duruma gelmesine katkıda bulunmak
UNEP (United Nations Environmental Programme – Birleşmiş Milletler Çevre Programı)	*1996 yılında yayınladığı YDA Kılavuzu, *1999 yılında çıkan YDA'nın Küresel Kullanımına Doğru adlı çalışması, *AB Çevre Koruma ajansı (USEPA) ve Leiden Üniversitesi Çevre Bilimleri Enstitüsü (Hollanda) ile YDA ile ilgili uluslararası çalıştaylar düzenlemek, *SETAC ile işbirliği ile yaşam döngüsü envanter aşaması için bir veri tabanı ve çevresel etki kategorilerine katkıda bulunan faktörler listesi oluşturmak
AB (Avrupa Birliği)	*Avrupa YDA Platformu *Uluslararası YDA referans sistemi el kitabı *YDA bazlı izleme indikatörleri *Yaşam döngüsü bazlı atık politikaları kılavuzu *YDA bazlı arazi kullanım analizi *Karbon ayak izi *2003 yılında Entegre Ürün Politikası (IPP) başlıklı tebliğ yayınlamak *2005 yılında yayımlanan Doğal Kaynakların Sürdürülebilir Kullanımı, Atıkların Önlenmesi ve Geri Kazanımı Stratejileri, Çerçeve Atık Direktifi ve Sürdürülebilir Tüketim ve Üretim ve Sürdürülebilir Sanayi Politikası Eylem Planı, YDD yaklaşımı kullanılarak oluşturulan en temel politikalarıdır.

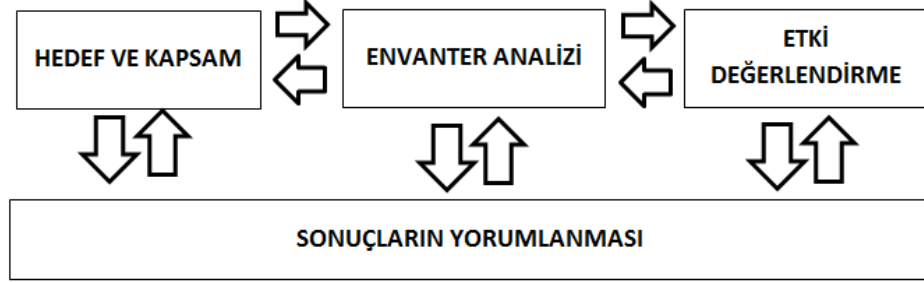
Şekil 2.1.'de LCA' nın kronolojik sıralaması gösterilmiştir.



Şekil 2.1. LCA'nın kronolojik sıralaması (Çokaygil 2005, Sünbül 2006 ve Öztürk 2012)

2.1.1. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Metodolojisi

ISO 14040 ve 14044 standartlarına göre yürütülen yaşam döngüsü değerlendirme çalışmaları hedef ve kapsamın belirlenmesi, envanter analizi, etki analizi ve yorumlama olmak üzere birbiriyle ilgili dört basamaktan oluşur (Şekil 2.2.) (Bayrak 2014).



Şekil 2.2. Yaşam döngüsü değerlendirme safhaları

Hedef ve Kapsamın Belirlenmesi

Yaşam döngüsü değerlendirmesinin ilk basamağıdır. Hedef, kapsam, fonksiyonel birim ve sistem sınırları gibi ana bileşenleri içermektedir.

Hedef tanımı aşamasında, yapılan çalışmanın amacı, gerçekleştirilme nedeni ve çalışmanın sonuçlarının iletileceği hedef kitle açıkça belirtilmelidir. Tüm LCA çalışmaları için şeffaflık zorunludur (Çokaygil 2005).

Kapsam tanımında, sistem sınırları, fonksiyonel birim, çalışma alanı, paylaşırma prosedürleri, etki yöntemi, yorum aşaması, veri gereksinimi, kabul edilen varsayımlar, sınırlamalar gibi konular açıkça belirtilmelidir. Kapsamın, başlangıçta belirlenen hedefe ulaşılabilmesi için en doğru şekilde tanımlanması gerekmektedir. Çalışmanın devam ettiği sırada ilave bilgilerin toplanması gibi durumlarda, kapsam yeniden düzenlenmelidir.

Fonksiyonel birim, niceliksel bir tanım olarak ifade edilmektedir (Bayrak 2014). Sonuçların ölçülebilir olması için fonksiyonel birimlerin dikkatli seçilmesi gerekmektedir. Dikkatli seçilen fonksiyonel birimler çalışmanın doğruluğunu arttırmaktadır (Demirer 2011). Örneğin, ısı akışı için kullanılan iki farklı duvar yalıtım malzemesi karşılaştırmasında; iki yalıtım malzemesinin aynı ortam şartları için aynı miktarda ısı akışını azaltan değerleri fonksiyonel birim olarak kullanılmalıdır (Demirer 2011).

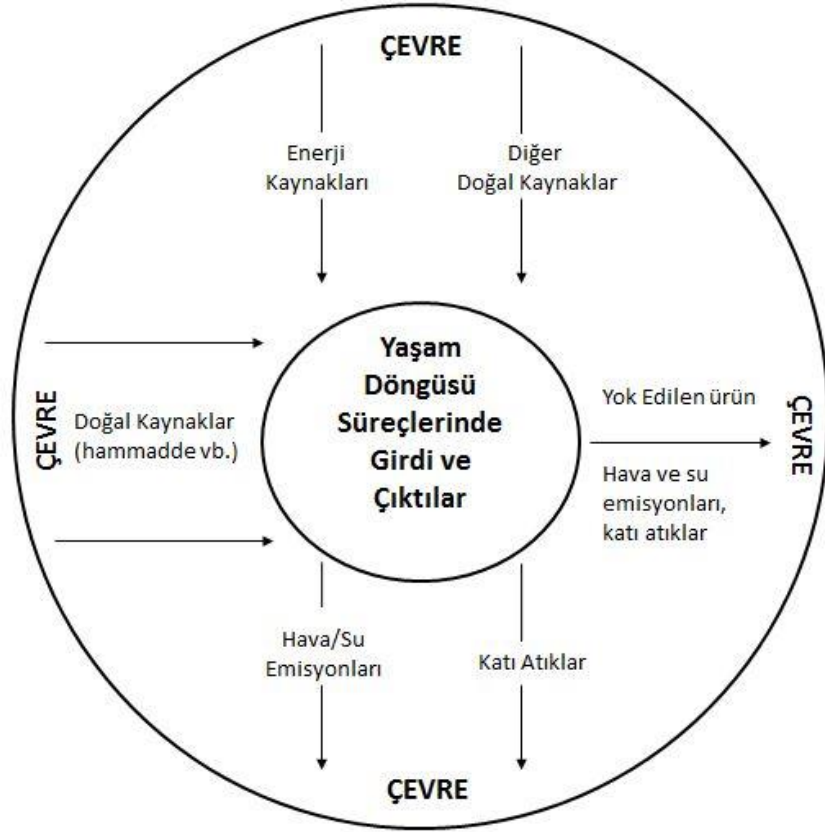
Sistem sınırları, bir ürünün hammadde temini, üretimi, kullanımı, geri dönüşümü gibi (beşikten mezara, beşikten kapıya vb.) basamaklarından hangilerinin çalışmaya dâhil edileceği aşamadır (Şekil 2.3.). Girdi ve çıktılar bu aşamada tanımlanır (Çokaygil 2005). Sistem sınırları oluşturulurken, çalışma amacı için gerekli görülmeyen basamaklar sınırlara dâhil edilmeyebilir. Buna karşın çalışmanın sonucunu etkileyebilecek tüm basamakların sistem sınırlarına dâhil edilmesi gerekmektedir. Sistem sınırları tanımlandıktan sonra girdi ve çıktılarının gösterildiği, sistemi daha kolay algılamamızı sağlayacak akış şemaları verilmelidir (Demirer 2011).



Şekil 2.3. Sistem sınırlarına ait özel isimlendirme

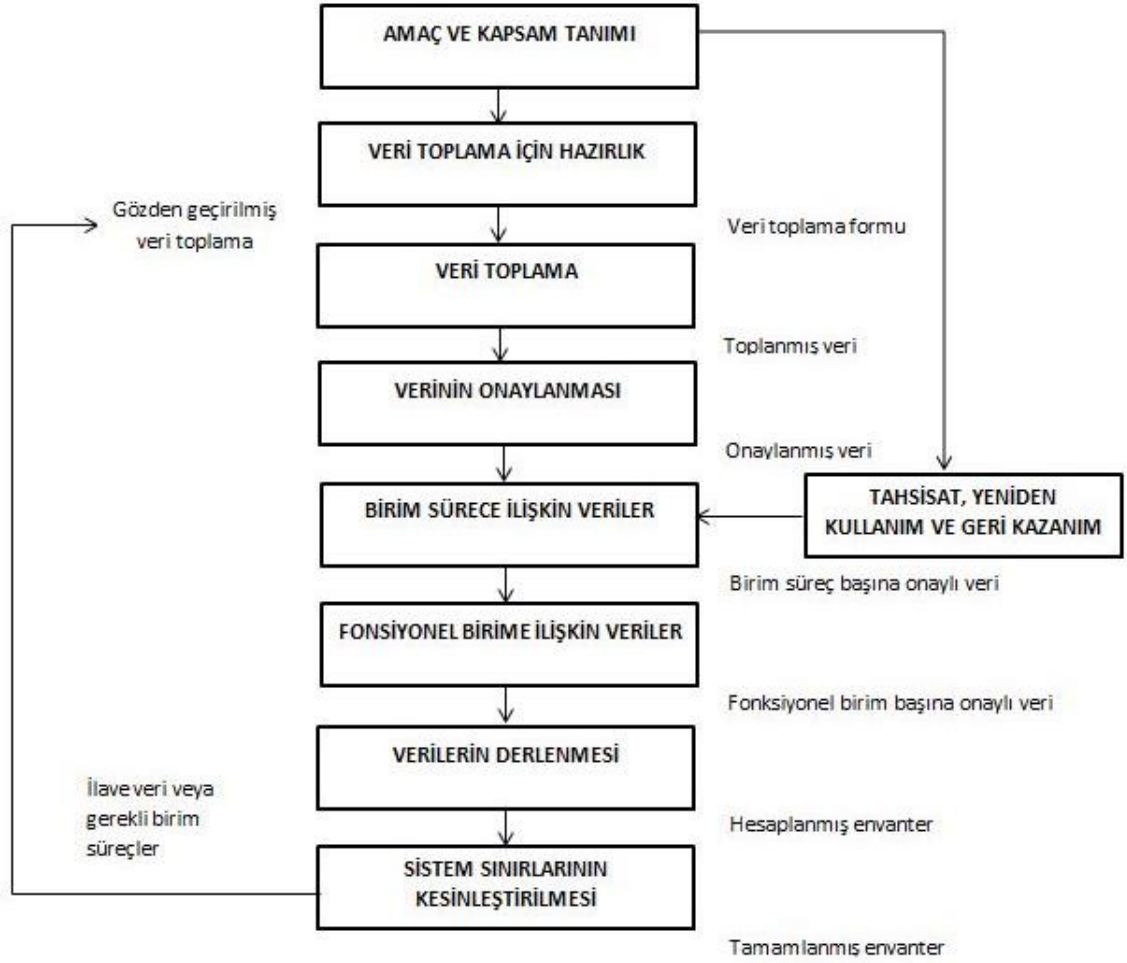
Envanter Analizi

Envanter analizi, yaşam döngüsü değerlendirmesinin ikinci basamağıdır. Ürünün süreç boyunca tüm girdi ve çıktıların anlatıldığı, hammadde ve enerji ihtiyaçları, oluşan emisyonların ve çevreye verilen atıkların belirlendiği basamaktır (Şekil 2.4.) (Öztürk 2012).



Şekil 2.4. Girdi ve çıktılar (Öztürk 2012)

Envanter analizi basamağı, veri toplama, sistem sınırlarının kesinleştirilmesi, gerekli hesaplamalar, verilerin doğrulanması ve paylaşırma adımlarını içermektedir (Çokaygil 2005). Şekil 2.5.' de yaşam döngüsü envanterinin aşamaları görülmektedir (Bayrak 2014).



Şekil 2.5. YDE aşamaları (Bayrak 2014)

Envanter analizi aşamalarına baktığımızda;

- Amaç ve kapsamda belirtilen sistem sınırları ve proseslere ait girdi (enerji, su, malzeme) ve çıktılar (hava, su ve toprağa olan emisyonlar, yan ürünler, sıvı/katı atıklar) ile ilgili verilerin toplanması gerekmektedir. Bu veriler toplanırken daha kaliteli bir çalışma elde etmek amacıyla uzun süre ve çeşitli kaynaklara ihtiyaç vardır. Söz konusu verilerin toplanması için veri toplama yöntemleri oluşturulabilir (Tok 2015).
- Toplanan verilere göre sistem sınırları yeniden ele alınır. Gözden geçirilen sistem sınırları kesinleştirilir. İlk basamakta sistem sınırları ile oluşturulan akış şeması, bu basamakta değerlendirmeyi kolaylaştırabilir (Tok 2015).
- ISO 14040'a göre, oluşturulan veri toplama yöntemi ile veriler fonksiyonel birim ile ilişkilendirilir ve fonksiyonel birim başına veriler onaylanabilir (Tok 2015).

- Verilerin toplanmasından sonra gelecek her adımda verilerin kütle denge ve enerji denkliği yöntemleriyle doğrulanması yapılabilir (Tok 2015).
- Paylaştırma, çevresel yükün asıl ürün ve yan ürünler arasında dağıtılması olarak ifade edilmektedir. Birden fazla ürün üretildiğinde ve bu ürün akışlarından bazılarının belirlenen sistem sınırlarıyla çakıştığına paylaştırma yapılmalıdır. Bunun yanı sıra paylaştırma, girişler ve atık arıtımı gibi emisyonlar arasında kuvvetli bir nicel nedensellik bulunduğu zaman yapılmalıdır. Sistem sınırlarından ayrılan atık malzemesinin başka bir sistem tarafından hammadde olarak kullanılması durumunda da paylaştırma yapılmalıdır (Çokaygil 2005).

Etki Analizi

Yaşam döngüsü değerlendirmesinin üçüncü basamağı olan etki analizi, etki kategorilerinin seçilmesi ve tanımlanması, sınıflandırma, karakterizasyon ve değerlendirme/ağırlıklandırma safhalarını kapsamaktadır (Çokaygil 2005). Yaşam döngüsü etki analizinde, ekolojik etkileri, insan sağlığı etkilerini ve kaynak tüketimini ele alan esas kavram olumsuzluk etkenidir (Öztürk 2012).

Yaşam döngüsü etki değerlendirmesi için birden fazla çevresel kategori bulunmaktadır. Çalışmanın hedef ve amacına paralel olarak uygun olan kategori seçimi yapılmalıdır (Çokaygil 2005). Bahsi geçen etki kategorileri, abiyotik ve biyotik kaynaklar, küresel ısınma, ekotoksikolojik etkiler, insanlar üzerinde toksikolojik etkiler, asidifikasyon, ötrofikasyon ve fotokimyasal oksidasyon oluşumudur (Öztürk 2012). LCA çalışmalarında sık tercih edilen etki kategorileri Çizelge 2.2.'de gösterilmektedir (EPA 2006).

Çizelge 2.2. Sık kullanılan etki kategorileri (EPA 2006)

Etki Kategorisi	Ölçek	LCA veri örnekleri	Olası karakterizasyon faktörü	Karakterizasyon faktörünün açıklaması
Küresel Isınma	Global	CO ₂ , NO ₂ , CH ₄ , CFC _s , HCFC _s , CH ₃ Br	Küresel ısınma potansiyeli	LCA verilerini karbondioksit (CO ₂) eşdeğerine dönüştürür.
Ozon Tabakasının Tükenmesi	Global	CFC _s , HCFC _s , Halonlar, CH ₃ Br	Ozon tüketimi potansiyeli	LCA verilerini trikloroflorometan (CFC-11) eşdeğerine dönüştürür.
Asidifikasyon	Bölgesel Yerel	SO _x , NO _x , HCL, HF, NH ₄	Asidifikasyon potansiyeli	LCA verilerini hidrojen iyonu (H ⁺) eşdeğerine dönüştürür.
Ötrofikasyon	Yerel	PO ₄ , NO, NO ₂ , Nitratlar, NH ₄	Ötrofikasyon potansiyeli	LCA verilerini fosfat (PO ₄) eşdeğerine dönüştürür.
Fotokimyasal Sis	Yerel	Metan olmayan hidrokarbonlar (NMHC)	Fotokimyasal oksidasyon oluşturma potansiyeli	LCA verilerini etan (C ₂ H ₆) eşdeğerine dönüştürür.
Kara ekosistemine olan toksik etki	Yerel	Kemirgenlere olan öldürücü derişimi rapor edilen zehirli kimyasallar	LC ₅₀ (%50 öldürücü doz)	LCA verilerini LC ₅₀ değerine dönüştürür.
Deniz ekosistemine olan toksik etki	Yerel	Balıklara olan öldürücü derişimi rapor edilen zehirli kimyasallar	LC ₅₀ (%50 öldürücü doz)	LCA verilerini LC ₅₀ değerine dönüştürür.
İnsan sağlığına olan toksik etki	Bölgesel Yerel	Havaya, suya ve toprağa yapılan toplan salınımlar	LC ₅₀ (%50 öldürücü doz)	LCA verilerini LC ₅₀ değerine dönüştürür.
Kaynak tükenmesi	Global Bölgesel Yerel	Kullanılan minarellerin ve fosil yakıtların miktarı	Kaynak tüketimi potansiyeli	LCA verilerini kullanılan kaynağın miktarına karşın rezervde kalan kaynağın miktarına dönüştürür.
Arazi kullanımı	Global Bölgesel Yerel	Depolama alanına atılan miktar veya diğer arazi değişiklikleri	Arazi kullanılabilirliği	Tahmini yoğunluğu kullanarak katı atığın kütlesini hacme dönüştürür.
Su kullanımı	Bölgesel Yerel	Kullanılan veya tüketilen su	Su sıkıntısı potansiyeli	LCA verilerini kullanılan rezerv miktarına karşın kullanılan su miktarına dönüştürür.

Sınıflandırma, sonuçların etki kategorileri ile ilişkilendirilmesidir (Tok 2015). Bazı çıktılar iki ayrı etki kategorisine etki edebilir. Bu durumda bu çıktılardan iki kez bahsedilmesi gerekir (Çokaygil 2005). Başka bir deyişle etkiler birbirinden bağımsız ise LCA sonuçlarının bağlantılı olduğu tüm etki kategorilerine eklenir. Örnek olarak, amonyumun (NH₄), hem asidifikasyona hem de ötrofikasyona etki ettiği görülmektedir. Bu iki etki kategorisinin birbirinden bağımsız olması nedeniyle amonyum emisyonu (%100) her iki etki kategorisine de eklenir (Tok 2015).

Karakterizasyon, her bir etki kategorisinin bilimsel karakterizasyon faktörleri yardımıyla modellenmesidir. Bu karakterizasyon faktörleri kullanılarak sonuçlar referans indikatörlere dönüştürülür (Tok 2015). Örneğin “Küresel Isınma Potansiyeli” etki kategorisi için referans birim “kg CO₂-eşdeğer” olarak hesaplanır (Bayrak 2014). Karakterize etme işlemi için “Envanter Verisi * Karakterizasyon Faktörü = Etki Göstergesi” formülü kullanılır (EPA 2006).

Normalizasyon, etki kategorilerine ait sonuçların bir referans değere bölünmesi ile birimsiz etki değerleri elde edilmesidir. Buradaki amaç iki farklı etki kategorisinin aynı referans değere dönüştürülerek karşılaştırılmasını mümkün kılmaktır (Bayrak 2014). Normalizasyon yöntemi yapılırken yazılımda mevcut olan normalleştirme setlerinden seçim yapılmaktadır (Anonim 2014). Çizelge 2.3.’ de SimaPro yazılımında kullanılan etki yöntemine göre uygun normalleştirme setleri gösterilmiştir.

Ağırlıklı değerlendirme, farklı etki kategorilerini önem sıralarına göre sıralamak, ağırlıklandırmak ve gruplandırmaktır (Çokaygil 2005).

Çizelge 2.3. Etki kategorilerine göre normalleştirme setleri (Anonim 2014)

Etki Kategorisi Metodu	Normalleştirme Seti
CML- IA	World 1990, 1995,2000
	EU28,2000 , EU25, 2000
	West Europe,1995
	Netherlands, 1197
ILCD Midpoint	EU-27, 2010 (available soon)
IMPACT 2002+	Europe, 2000
ReCiPe	Europe, 2000
	World, 2000
BEES+	USA, 1997
TRACI	US-Canada, 2008
	US, 2008
	Canada, 20008
USEtox	Europe, 2004
	Nort America, 2002/2008

Yorumlama

Yaşam döngüsü değerlendirmesinin son basamağı olan yorumlamada, yaşam döngüsü envanteri ve yaşam döngüsü etki analizi basamaklarında elde edilen sonuçlar uygun teknikler aracılığıyla değerlendirilir (Tok 2015). Başka bir deyişle yorumlama basamağında, sonuçlar gözden geçirilir, amaç ve kapsam tanımında belirtilenler ile uyumlu olup olmadığına bakılır (Bayrak 2014). Burada önemli olan sonuçları, şeffaf ve kolay anlaşılabilir bir raporlama ile tam olacak bir şekilde sunmaktır (EPA 2006).

Elde edilen sonuçlar ilk basamakta belirlenen ihtiyaçları karşılamazsa sistem sınırları tekrar gözden geçirilip düzenlenmelidir. Yeni verilerle envanter analizi geliştirilmelidir. Bu gözden geçirme ve sistem sınırlarının düzenlenmesi aşağıda verilen maddeler karşılanıncaya kadar tekrar edilmelidir:

1. Önemli çevresel konuların LCA ile bağlantılı olarak tanımlanması,
2. Yapılan çalışmanın bütünsel olması, hassasiyet analizlerinin (örneğin; Monte Carlo simülasyonu) gerekli olduğu adımlarda yapılması ve başlangıç hipotezlerinin sonuçlarla tutarlılık göstermesi,

3. Sonuçların ve iyileştirmelerin birinci basamaktaki hedef ve kapsam tanımlarıyla uyumluluğunun kontrolü
4. İlk 3 madde sağlanıyorsa rapor yazılmalı, sağlanmıyorsa 1. ve 2. maddeye geri dönerek 3. madde sağlanıncaya kadar işleme devam edilmelidir (Çokaygil 2005, Tok 2015).

2.2. LCA Uygulanan Çevresel Yatırımlar

Literatürde yer alan LCA uygulamaları incelendiğinde hemen hemen her sektörde bu uygulamanın gerçekleştirildiği görülmektedir (Çizelge 2.4.). Bunun yanı sıra sürdürülebilirlik tanımı ile ilgili olarak Avrupa ülkelerinde olduğu gibi Türkiye'nin de bazı yükümlülükleri vardır. Şöyle ki Avrupa'da kullanılacak olan ürünlerin Avrupa'ya Uygunluk (CE, European Conformity) belgesinin yanı sıra Çevresel Ürün Beyanı (EPD, Environmental Product Declaration) belgesine de sahip olması gerekmektedir. EPD belgesi sadece malzemelerin yaşam döngüsü değerlendirmesi yapılarak elde edilmektedir. Elde edilen bu belge malzemelerin çevresel performanslarını şeffaf bir şekilde yansıtmakta ve nicel değerler olarak ortaya koymaktadır (Tok 2015).

LCA kullanıcılarına 2006 yılında yapılan anket bazlı çalışmanın sonuçlarına göre yüzde 58 Gabi yazılımı, yüzde 31 SimaPro yazılımı ve yüzde 11 diğer yazılımların tercih edildiği görülmüştür (Demirer 2011). Fakat bu tez kapsamında incelenen çalışmalarda diğer LCA yazılımlarına nazaran SimaPro yazılımının daha çok tercih edildiği görülmektedir.

Çizelge 2.4. LCA uygulanan çevresel yatırımlar

LCA UYGULANAN ALAN	KULLANILAN YAZILIM	KULLANILAN VERİ TABANI	SİSTEM SINIRLARI	ETKİ DEĞERLENDİRME YÖNTEMİ	SONUÇ	ÇALIŞMANIN TÜRÜ	REFERANS
Elektrik üretiminde kullanılan linyitin madencilik aşamaları	GABI Education	*GABI Education veritabanları *LANCA Arazi kullanım hesaplama yöntemi	Beşikten Mezara	TRACI yöntemi	Kömürün hazırlanma, zenginleştirme ve taşınma aşamalarının tümünde Elektrik ve Dizel yakıt kullanımının tüm etki kategorilerine etkisi görülmüştür. OTBP, SKTP ve TKTP etkileri yüksek görülmüştür.	Yüksek Lisans Tezi	Bayrak (2014)
Alüminyum alaşımdan üretilen turbo emiş borusu ve Plastik matrisli kompozit malzemeden üretilen tampon	SimaPro 7.3.2	*Ecoinvent v1	Beşikten Mezara	IMPACT 2002+	Çevresel etkinin en fazla görüldüğü kısımlar Turbo emiş borusunun dökümhane bölümü, Tampon üretiminin ise presleme bölümüdür. Atık senaryoları açısından, turbo emiş borusu ve tampon üretimi için en avantajlı senaryo Yeniden Kullanımdır.	Yüksek Lisans Tezi	Öztürk (2012)

Çizelge 2.4. LCA uygulanan çevresel yatırımlar (devam)

LCA UYGULANAN ALAN	KULLANILAN YAZILIM	KULLANILAN VERİ TABANI	SİSTEM SINIRLARI	ETKİ DEĞERLENDİRİM E YÖNTEMİ	SONUÇ	ÇALIŞMANIN TÜRÜ	REFERANS
Türkiye’de üretilen ve yaygın şekilde kullanılan CEM-I tipi çimentonun sebep olduğu CO ₂ emisyonları	GreenConcrete LCA (Excel bazlı yazılım)	*Sistematik hesaplama yöntemi	Beşikten Kapıya	Bu çalışmada ulaşılabilir verilerin yetersizliği sebebiyle etki değerlendirmesi yer almamaktadır.	Türkiye’de oluşan CO ₂ emisyonlarının yaklaşık %94’ü klinkerin pişirilmesi ve kalsinasyon kaynaklıdır. %5’lik kısmı ise yakıt, hammadde ve klinkerin öğütülmesinde kullanılan elektrik kaynaklı emisyonlar takip etmektedir.	Makale (2.Proje ve Yapım Yönetimi Kongresi)	Gürsel ve Meral (2012)
Porselen Karo Üretimi	SimaPro 8.0.4	*Ecoinvent Ver 3.0.1	Beşikten Kapıya (Opsiyonlu)	CML-IA Baseline v4.2	Tüm etki kategorileri incelendiğinde (Kaynak Tüketim Oluşumu Potansiyeli – Fosil Olmayan hariç) en fazla etkinin üretim adımında görüldüğü gözlemlenmiştir.	Çevresel Ürün Beyanı	Seramik Seranit Grup (2015)

Çizelge 2.4. LCA uygulanan çevresel yatırımlar (devam)

LCA UYGULANAN ALAN	KULLANILAN YAZILIM	KULLANILAN VERİ TABANI	SİSTEM SINIRLARI	ETKİ DEĞERLENDİRİM YÖNTEMİ	SONUÇ	ÇALIŞMANIN TÜRÜ	REFERANS
Duvar Karosu Üretimi	SimaPro 8.0.3	*Ecoinvent Ver 3.0	Beşikten Kapiya (Opsiyonlu)	CML-IA Baseline v4.2	Tüm etki kategorilerinde (Ötrotikasyon Potansiyeli hariç) üretim süreci ürünün YDD üzerinde en yüksek etkili olduğu süreci temsil etmektedir.	Çevresel Ürün Beyanı	NG Kütahya Seramik (2015)
Dört Farklı Bina Kabuk Tipi	eTool LCA	*eTool LCA veritabanı	Beşikten Kapiya	eTool LCA yazılımı göstergeleri	Gaz betonunun, beton ve tuğlaya göre daha çevre dostu malzeme olduğu görülmektedir. Sera gazı emisyonlarını azaltmak için, malzeme üretim süreci sırasında güneş enerjisi ve rüzgâr enerjileri gibi kaynaklar kullanılabilir. Ayrıca, fosil yakıt yanması azaltılarak asitleşme potansiyelinin azaltılması ve malzeme üretiminde tatlı su tüketiminin azaltılması çevre dostu ve sürdürülebilir binalar oluşturmaya yardımcı olabilir.	Yüksek Lisans Tezi	Fazlı (2013)

Çizelge 2.4. LCA uygulanan çevresel yatırımlar (devam)

LCA UYGULANAN ALAN	KULLANILAN YAZILIM	KULLANILAN VERİ TABANI	SİSTEM SINIRLARI	ETKİ DEĞERLENDİRME YÖNTEMİ	SONUÇ	ÇALIŞMANIN TÜRÜ	REFERANS
Katot Işın Tüpü (CRT), Sıvı Kristal Ekran (LCD) ve Işık Yayan Diyot (LED)	LCA Umberto yazılım versiyonu 5.6	*Ecoinvent veritabanı2.2	Beşikten Mezara	CML 2001 ve IMPACT 2002+	Modellerin sağlamlığı duyarlılık analizi ile doğrulanmıştır. LED monitörlerin en az çevresel yük oluşturmasına karşın, CRT monitörlerin neden olduğu etki LED monitörlerin neredeyse üç katıdır.	Uluslararası Makale (Elsevier)	Bhakar ve ark. (2015)
Refraktör Tuğla Üretimi	SimaPro 8.0.1	* SimaPro veritabanları	Beşikten Kapıya	CML IA	Üretimdeki kurutma ve sinterleme süreçlerinden dolayı oldukça yoğun enerji tüketimi olduğu ve bunun çevreye olan etkilerinin fazla olduğu görülmüştür. En önemli çevresel etkileri hammadde ve pişirme proseslerinden dolayı abiyotik kaynakların tükenmesi ve küresel ısınma kategorilerinde olduğu gözlemlenmiştir.	Yüksek Lisans Tezi	Tok (2015)

Çizelge 2.4. LCA uygulanan çevresel yatırımlar (devam)

LCA UYGULANAN ALAN	KULLANILAN YAZILIM	KULLANILAN VERİ TABANI	SİSTEM SINIRLARI	ETKİ DEĞERLENDİRME YÖNTEMİ	SONUÇ	ÇALIŞMANIN TÜRÜ	REFERANS
Çimento fabrikasında eski üretim hatları ile (L3, L4, L5) yeni hatların karşılaştırılması (L6)	SimaPro 7.2	*Ecoinvent veritabanı	Beşikten Mezara	Kümülatif enerji Talep Göstergesi Ecoindicator 99	Bu çalışmada en iyi iyileştirme fırın sisteminde enerji verimliliği ile ilişkilidir. Yeni hatlarda (L6), küresel ısınma, asidifikasyon ve ötrofikasyon etki kategorilerinde önceki hatlara göre sırasıyla % 5, % 15 ve % 17 azalma elde edilmiştir.	Uluslararası Makale (Elsevier)	Valderram ve ark. (2012)
Manyezit Üretimi	GABI 5.0 yazılımı	*GABI profesyonel veritabanı *Ecoinvent veritabanı	Beşikten Kapıya	CML 2001 ve	Ergimiş manyezit üretimi için alternatif üretim yöntemleri YDD yaklaşımıyla karşılaştırılmıştır. (S4) yönteminin en iyi çevresel performans gösteren yöntem olduğu görülmektedir. Küresel ısınma potansiyelini geleneksel üretim yöntemlerine göre (S1) %48 oranında azalttığı tespit edilmiştir.	Uluslararası Makale (Elsevier)	Li ve ark. (2016)

2.3. LCA Uygulanan Su Arıtımı Yatırımları

Su arıtma yapılarına uygulanan LCA çalışmalarında en çok tercih edilen yazılımın SimaPro olduğu gör÷lmektedir (Çizelge 2.5.). Çalışmalarda gör÷nen ortak sonuç genel olarak enerji tüketiminin ve kimyasal kullanımının arıtma yapılarında çevresel etkilere en çok payı olduğudur.



Çizelge 2.5. LCA uygulanan su arıtımı yatırımları

LCA UYGULANAN ALAN	KULLANILAN YAZILIM	KULLANILAN VERİ TABANI	SİSTEM SINIRLARI	ETKİ DEĞERLENDİRME YÖNTEMİ	SONUÇ	ÇALIŞMANIN TÜRÜ	REFERANS
İkinci kademeye kadar arıtılmış evsel atıksuların, termoelektrik güç santrallerinin soğutma sistemlerinde tekrar kullanılabilmesi için uygulanabilecek üçüncü kademe arıtma alternatiflerinin karşılaştırılması	SimaPro v7.3	*Carneige Mellon EIO-LCA 2002 *Ecoinvent *USLCI	Beşikten Kapıya	TRACI	Üçüncü kademe arıtma ve şartlandırma kimyasallarının ve elektrik üretiminin çevresel etkilerde en çok payı olan ana prosesler olduğu görülmüştür. İkinci kademeye kadar arıtılmış atıksuların soğutma sistemlerinde yeniden kullanılabilmesi için, üçüncü kademe arıtmanın az olduğu veya hiç olmadığı alternatiflerin kullanılması önerilmiştir.	Makale	Theregowda ve ark. (2014)

Çizelge 2.5. LCA uygulanan su arıtımı yatırımları (devam)

LCA UYGULANAN ALAN	KULLANILAN YAZILIM	KULLANILAN VERİ TABANI	SİSTEM SINIRLARI	ETKİ DEĞERLENDİRME YÖNTEMİ	SONUÇ	ÇALIŞMANIN TÜRÜ	REFERANS
Farklı dezenfeksiyon (Klorlama ve UV arıtma, Ozonlama, Ozonlama ve Hidrojen Peroksit) arıtma teknolojilerini değerlendirmek	-	*Ecoinvent v2.1	Beşikten Kapıya	CML 2000	Klorlama ve UV arıtma ile dezenfeksiyonun en düşük etkiye sahip olduğu görülmüştür. Yaz aylarında nüfus miktarındaki artışa bağlı olarak atıksu miktarının da arttığı ve kış aylarında atıksuları ortalama koşullara getirmek için çevresel iyileştirme yapılması gerektiği görülmüştür.	Uluslararası Makale (Elsevier)	Meneses ve ark. (2010)

Çizelge 2.5. LCA uygulanan su arıtımları yatırımları (devam)

LCA UYGULANAN ALAN	KULLANILAN YAZILIM	KULLANILAN VERİ TABANI	SİSTEM SINIRLARI	ETKİ DEĞERLENDİRME YÖNTEMİ	SONUÇ	ÇALIŞMANIN TÜRÜ	REFERANS
DM-LCA platformunda, farklı arıtma senaryolarının çevresel performanslarını değerlendirmek, onları karşılaştırmak ve hot pointleri belirlemek	LCA Python arayüzü	*Ecoinvent 2.2. Umberto	Beşikten Kapağa	LCA Ecoinvent veritabanı v2.2 ve ReCiPe 2008 kullanılarak Umberto® v5.6 yazılımında hesaplanmıştır.	LCA hesaplamaları ile birlikte dinamik simülasyonlar kullanılmıştır. Nitrifikasyon/deamonifikasyon gibi alternatif senaryolar incelenmiştir. N ₂ O'nun doğrudan emisyonu nedeniyle ve bunun optimizasyonuna ihtiyaç duyulduğu belirlenmiştir. AAT'de N girdisinin azaltılması ile ve çamurdaki ağır metallerin giderilmesi ile toksisite sorunlarının engelleneceği görülmüştür.	Uluslararası Makale (Elsevier)	Faria ve ark. (2015)

Çizelge 2.5. LCA uygulanan su arıtımları yatırımları (devam)

LCA UYGULANAN ALAN	KULLANILAN YAZILIM	KULLANILAN VERİ TABANI	SİSTEM SINIRLARI	ETKİ DEĞERLENDİRME YÖNTEMİ	SONUÇ	ÇALIŞMANIN TÜRÜ	REFERANS
İspanya'daki farklı iklim bölgelerinde bulunan (Atlantik ve Akdeniz) Atıksu Arıtma Tesisleri incelendi. Geleneksel parametrelerin yanı sıra su ve çamur hatlarında bulunan Sera gazı emisyonları ve İlaç ve kişisel bakım ürünlerini içeren kapsamlı bir çalışmadır.	SimaPro 8.0	*Ecoinvent v2.2/ Elektrik Üretimi *Ecoinvent v3 / Kimyasal Ürünler	Beşikten Mezara	CML 2001	Sera gazı emisyonlarının, küresel ısınma potansiyelinin %62'sini oluşturduğu görüldü. Atlantik ve Akdeniz bölgeleri arasında çevresel etkiler açısından büyük farklar bulunmadığı görülmüştür. Her iki bölgede de kış aylarında atıksu arıtımı çevre dostu olmamıştır. Bunun nedeni yüksek elektrik tüketimi, atık üretimi ve kış boyunca kirleticilerin konsantrasyonudur. Yağışın, AAT'lerinde sorunlara yol açarak çevresel performansı etkilediği görülmüştür.	Uluslararası Makale (Elsevier)	Toja ve ark. (2016)

Çizelge 2.5. LCA uygulanan su arıtımları yatırımları (devam)

LCA UYGULANAN ALAN	KULLANILAN YAZILIM	KULLANILAN VERİ TABANI	SİSTEM SINIRLARI	ETKİ DEĞERLENDİRME YÖNTEMİ	SONUÇ	ÇALIŞMANIN TÜRÜ	REFERANS
Atıksularda bulunan İlaç ve Kişisel Bakım Ürünleri (PPCPs)	-	Estimation Program Interface Suite v4.0	Beşikten Kapıya	USEtox (CaITOX ve Impact 2002 ve USES-LCA) USES-LCA 2.0	PPCP'lerin tatlı su ekotoksitesi üzerinde büyük bir etkisi olduğu ve sırasıyla USES-LCA 2.0 ve USEtox ile toplam etkinin% 81 veya% 97'sini oluşturduğu görülmüştür. Bu makale, toksisite etki kategorileri için varolan güncelleme ve yeni karakterizasyon faktörleri sağlayarak PPCP'lerle ilgili mevcut etkiler hakkında mevcut bir adım önermiştir. Böylece, su ve atıksu sistemlerinin çevresel performansının daha kapsamlı bir resminin elde edilebileceği belirtilmiştir.	Uluslararası Makale (Elsevier)	Alfonsin ve ark. (2014)

Çizelge 2.5. LCA uygulanan su arıtımları yatırımları (devam)

LCA UYGULANAN ALAN	KULLANILAN YAZILIM	KULLANILAN VERİ TABANI	SİSTEM SINIRLARI	ETKİ DEĞERLENDİRME YÖNTEMİ	SONUÇ	ÇALIŞMANIN TÜRÜ	REFERANS
Varsayımsal bir şehrin su ve atıksu hizmet sistemleri için dört alternatifin çevresel etkilerinin karşılaştırılması	SimaPro 8	*Ecoinvent	Beşikten Kapıya	ReCiPe Midpoint (H) LCIA	Test edilen koşullar altında, kentsel atıksu yönetimine merkezi olmayan bir yaklaşımın, ortak merkezi sisteme göre çevreye duyarlı olduğu sonucuna varılmıştır. Elektriğin, çoğunlukla içilebilir su üretiminde, birçok etki kategorisinde en önemli parametre olduğu görülmüştür. Altyapının metal olması, insan toksisitesi ve tatlı su ve deniz ekotoksisitesi üzerinde belirgin bir etkisi olduğu görülmüştür.	Uluslararası Makale (Elsevier)	Opher ve ark. (2016)

Çizelge 2.5. LCA uygulanan su arıtımları yatırımları (devam)

LCA UYGULANAN ALAN	KULLANILAN YAZILIM	KULLANILAN VERİ TABANI	SİSTEM SINIRLARI	ETKİ DEĞERLENDİRME YÖNTEMİ	SONUÇ	ÇALIŞMANIN TÜRÜ	REFERANS
Ayçiçek Yağı üretimi çevresel etkileri	SimaPro 7.3	*Ecoinvent	*Beşikten Mezara *Kapıdan Kapıya	ReCiPe CED (Toplu Enerji Talebi)	CED metodu, enerji tüketimi ile ilişkili olmayan çevresel etkileri dikkate almadığından yaşam döngüsündeki sıcak noktaların belirlenmesinde yanıltıcı sonuçlar verebileceği tespit edilmiştir. Arıtma safhasının sıcak noktalarının ağartma basamağı, doğalgazdan buhar üretimi ve atık su arıtma tesisi olduğu görülmektedir. Birincil verilerin kullanılmasının araştırmanın kalitesini artırabileceği kanısına varılmıştır. Bu çalışmada elde edilen analiz ve sonuçlar, ayçiçeği yağı için özeldir, ancak diğer yağ türleri için işleme aşamasında benzer sonuçlar beklenebilir.	Uluslararası Makale (Elsevier)	Nucci ve ark. (2014)

Çizelge 2.5. LCA uygulanan su arıtımları yatırımları (devam)

LCA UYGULANAN ALAN	KULLANILAN YAZILIM	KULLANILAN VERİ TABANI	SİSTEM SINIRLARI	ETKİ DEĞERLENDİRME YÖNTEMİ	SONUÇ	ÇALIŞMANIN TÜRÜ	REFERANS
Akdeniz Bölgesinde kentsel atıksuların endüstrilerde yeniden kullanımı için iyileştirilmesi	-	*Ecoinvent v3.1	Beşikten Mezara	ReCiPe CML2001	Suyun yeniden kullanılmasının önemi ortaya çıkmıştır. Atıksu Arıtma Tesisinin doğrudan deşarjlarına kıyasla, üçüncül arıtmanın toplam toksisite (TT) ve tatlı su ötrofikasyonunda (FE) en düşük etkiye sahip olduğu gerçeği vurgulanmıştır. Tüm arıtma süreçlerinde en önemli sıcak nokta enerji tüketimi olarak tespit edilmiştir. Bu çalışmadaki sonuçların başlıca anlamı, mümkün olduğunda ve nerede olursa olsun, atık su arıtımındaki suyu kimyasal endüstri gibi içilebilir olmayan amaçlar için yeniden kullanmamızdır.	Uluslararası Makale (Elsevier)	Pintilie ve ark. (2016)

Çizelge 2.5. LCA uygulanan su arıtımları yatırımları (devam)

LCA UYGULANAN ALAN	KULLANILAN YAZILIM	KULLANILAN VERİ TABANI	SİSTEM SINIRLARI	ETKİ DEĞERLENDİRME YÖNTEMİ	SONUÇ	ÇALIŞMANIN TÜRÜ	REFERANS
Çin’de AAT'nin davranışının analizi ve sonuçta ortaya çıkan ekonomik ve çevresel sonuçların genel bir çerçevesi sunulmakta ve deşarj standardı, ücret oranı ve ceza oranının etkileri analiz edilmektedir.	SimaPro 8	Benchmark Simülasyon Modeli No. 2	Beşikten Mezara	Eco-indicator 99 (H) V2.10/Europe EI 99 H/A	AAT'nin davranışları uyarınca, operasyonel maliyet ile çevresel etki arasında, operasyonel maliyet ile ağırlıklı kirletici emisyon arasında ve çevresel etki ve ağırlıklı kirletici emisyon arasında dengelenmeler olduğu görülmüştür. “Daha sıkı deşarj standartları, artan ücret fiyatları ve ceza faktörleri her zaman çevre dostu değildir ve bu politika araçları, alınan su yollarını daha düşük ekonomik maliyet ve çevresel etkiyle korumak için birbirleriyle işbirliği yapmalıdır” sonucuna varılmıştır.	Uluslararası Makale (Elsevier)	Lu ve ark. (2016)

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Çalışma Alanı

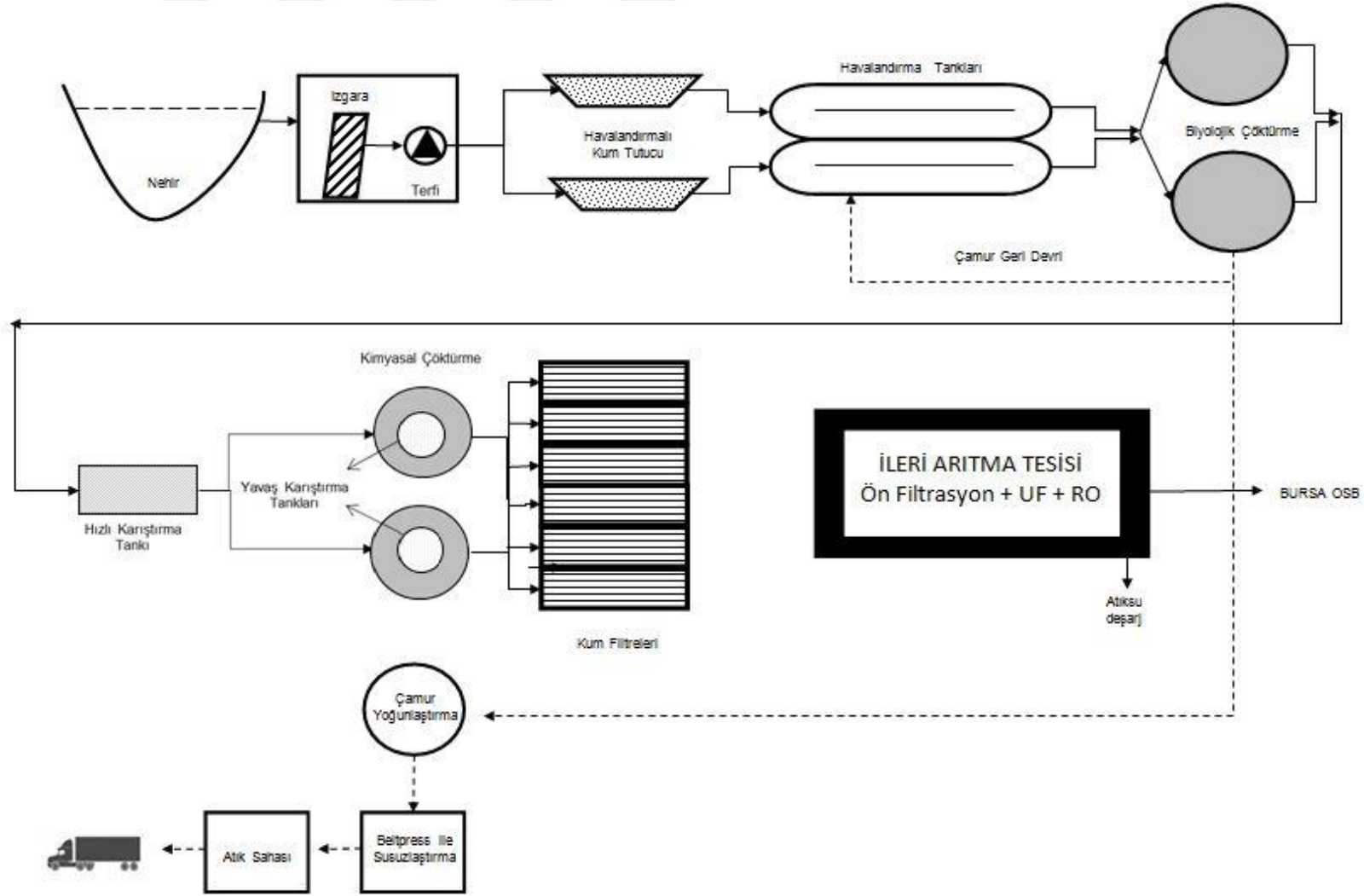
Projenin çalışma alanı, 96002,59 m² yüzölçümlü alan üzerinde, 11037 m² yüzölçümlü kapalı alanında bulunan “Bursa Organize Sanayi Bölgesi Müdürlüğü Su Üretim Tesisi” ‘dir. İşletme Bursa Organize Sanayi Bölgesi sınırları içerisindeki firmalar için, proses suyu üretimi ve dağıtımını konularında faaliyet göstermektedir.

BOSB Su Üretim Tesisi

Bursa Organize Sanayi Bölgesi Su Üretim Tesisi’ nin çalışma prensibi; Nilüfer deresinden aldığı suyu fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma ve ileri arıtma teknolojileri ile arıtarak Organize Sanayi Bölgesindeki fabrikaların proseslerinde kullanılmak üzere proses suyu (2. Kalite Su) dağıtımını yapmaktadır.

Nilüfer deresinden tesise alınan su, ilk olarak ızgara ve havalandırmalı kum tutucu ünitelerinde fiziksel arıtma işlemlerine tabi tutularak dere suyundaki katı partiküllerin giderimi sağlanmaktadır. Daha sonra su, içerisindeki organik kirliliğin giderilmesi için havalandırma havuzları ve çöktürme havuzlarından oluşan biyolojik arıtma kademesine geçer. Biyolojik çöktürme havuzundan iletilen su; koagülasyon, flokülasyon ve çöktürme işlemlerinin gerçekleştiği kimyasal arıtma ünitelerine giderek kalan organik kirleticinin bir kısmı, ağır metaller ve toksik maddeler giderilir. Kimyasal çöktürme adımından sonra, hızlı kum filtrelerinden geçirilir ve ileri arıtma ünitelerine iletilir. İleri arıtma sistemi Ön filtrasyon, Ultrafiltrasyon ve Ters Osmoz proseslerinden oluşmakta olup, partikül, iyon, organik bileşik, virüs bakteri ve patojen giderimi sağlanmaktadır. Ters Osmoz prosesinden kaynaklanan konsantre sular Nilüfer deresine deşarj edilmektedir.

Tesisin genel akış diyagramı Şekil 3.1.’de gösterilmiştir.



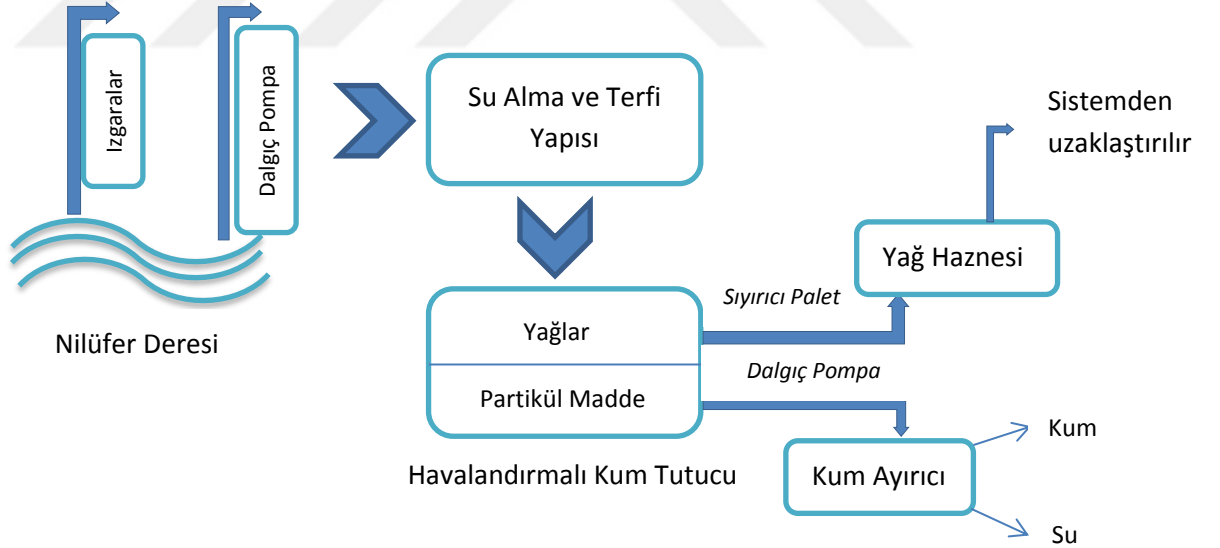
Şekil 3.1. BOSB Su Üretim Tesisi akış diyagramı

3.1.1. Tesisin Üniteleri ve Akış Diyagramları

Fiziksel Arıtma Ünitesi

Fiziksel arıtma ünitesinin ilk adımı su alma ve terfi yapısıdır. Manuel ve otomatik temizlemeli ızgaralar ve kanal sistemi yardımı ile Nilüfer deresinden alınan su, dalgıç pompa yardımı ile tesise iletilmektedir. Izzaralar, diğer arıtma ünitelerine gelecek yükü azaltmak, ekipmanları korumak ve su içerisinde bulunan katı partikülleri tutmak amacıyla kullanılır.

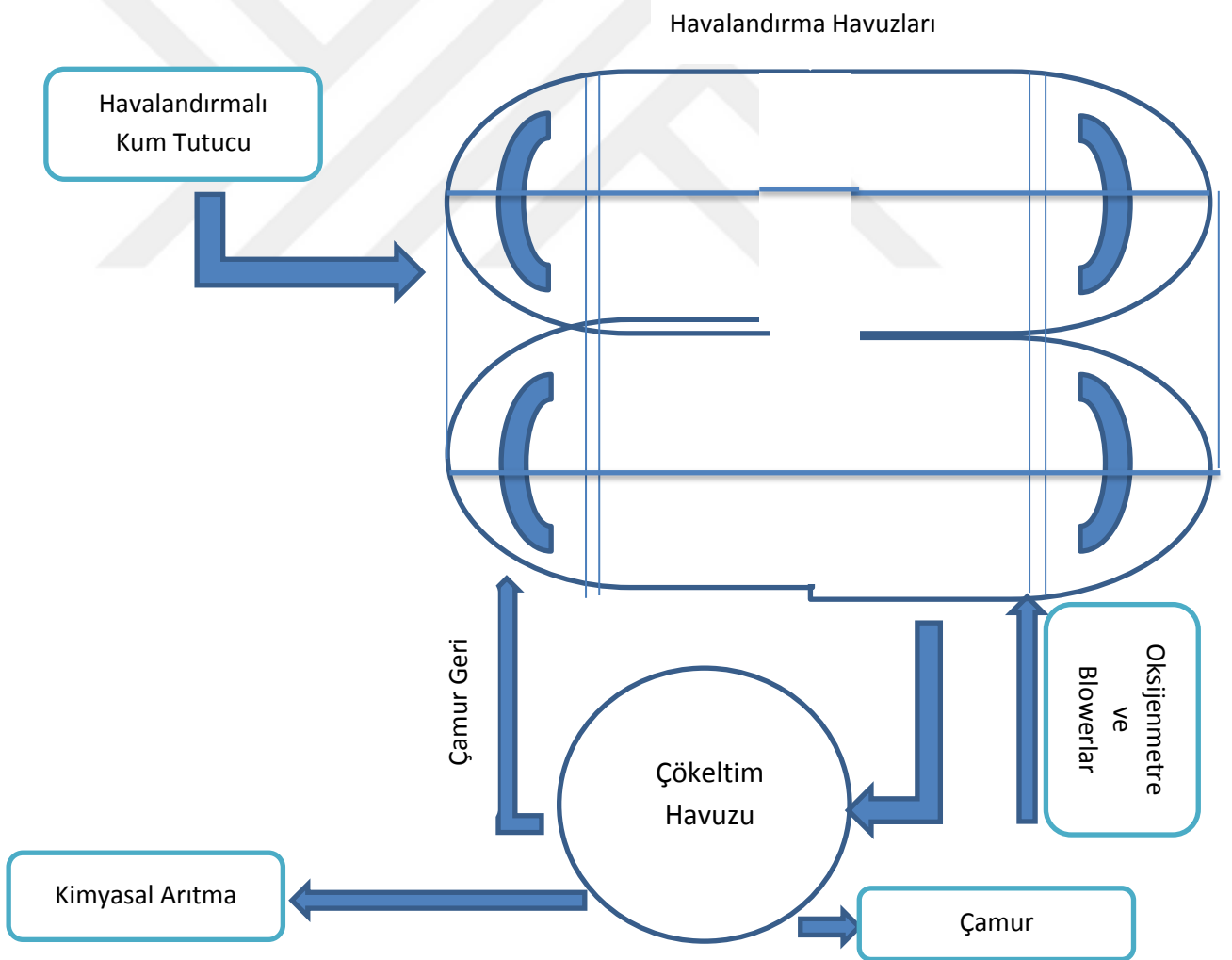
Tesise iletilen su daha sonra havalandırmalı kum tutucu ünitesine getirilir, partikül maddeler çöktürülür, yağlar ise su yüzeyinde kalarak sistemden uzaklaştırılması sağlanır. Havalandırmalı kum tutucu üzerinde bulunan dalgıç kum pompasında biriktirilen kumlar kanal yardımıyla kum ayırıcıya ulaşır, burada kum ve su birbirinden ayrılır, ayrılan kum tesisten uzaklaştırılır. Blower yardımıyla havalandırılan sistem üzerinde biriken yağlar sıyrıcı paletler yardımıyla yağ haznesinde biriktirilerek sistemden uzaklaştırılır. Şekil 3.2.'de fiziksel arıtma ünitesinin akım şeması gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Fiziksel arıtma ünitesi akım şeması

Biyolojik Arıtma Ünitesi

Havalandırılmalı kum tutucudan sonra su kanaldan geçerek organik kirliliği gidermek için havalandırma havuzuna alınmaktadır. Karbon, azot ve fosfor giderimini sağlamaya yarayan havuzlar giriş suyundaki amonyak azotunu önce nitrite sonra da nitrata dönüştürür. Havalandırma havuzunun anaerobik kısmına çamurun tamamı geri devir yaptırılır. Bu bölümde bakteriler giriş suyundaki karbon kaynaklarını kullanır. Oksijen miktarı oksijenmetre ve blowerlar ile kontrol edilmektedir. Aerobik bölgelerde karbonlu maddelerin oksidasyonu ve nitrifikasyon işlemi gerçekleşirken anoksik bölgede denitrifikasyon işlemleri gerçekleşmektedir. Anoksik bölgedeki dalgıç pompalar çökelmeyi önlemektedir. Şekil 3.3.'de biyolojik arıtma ünitesinin akım şeması gösterilmektedir.



Şekil 3.3. Biyolojik arıtma ünitesi akım şeması

Kimyasal Arıtma Ünitesi

Biyolojik arıtmadan gelen su koagülasyon, flokülasyon ve çöktürme işlemlerini gerçekleştirmek için kimyasal arıtma ünitesine gelir. Bu işlemlerin gerçekleşmesi için hızlı karıştırma ve yavaş karıştırma işlemlerine tabi tutulur. Su içerisinde yumaklar oluşturarak kimyasal maddenin homojen olarak karışmasını sağlayan ünite hızlı karıştırma ünitesidir. Daha sonra oluşan taneciklerin birleşerek daha kolay çöken yumaklar oluşturması işleminin sağlanması için yavaş karıştırma ünitesine gelir. Oluşan yumakların çöktürülmesi için çöktürme tanklarına gelir. Çöktürme tankının dibinde biriken çamur; çamur yoğunlaştırma ünitesine oradan beltpres ünitesine gelerek katı madde miktarı artırılır ve bu şekilde susuzlaştırılması sağlanır. Çökelemeyen çamurlar için kum filtreleri tasarlanmış olup, filtre yataklarından geçirilerek süzülen su, filtre haznesi tabanında yer alan toplama borusu ile alınarak filtrelenmiş su toplama kanalına buradan da suyun bir kısmı ileri arıtma tesisine geçerken diğer bir kısmı da tesis içindeki su deposuna alınmaktadır. Kum filtrelerinde çökelen çamur, çamur yoğunlaştırma ünitesine gelmektedir. Şekil 3.4.'de kimyasal arıtma ünitesinin akım şeması gösterilmektedir.

Çamur Bertarafı Ünitesi

Çökeltme havuzlarında çökelen çamurlar sıyrıcılar vasıtasıyla sıyrılarak çamur yoğunlaştırma ünitesine gelirler. Yoğunlaştırma havuzundaki çamur beltpres pompalarıyla beltprese alınır ve yoğunluğu arttırmak için polielektrolit eklenir. Beltpresden süzülen sular geri devire, çıkan çamur keki ise konveyör bant ile bir konteynırda biriktirilir.

İleri Arıtma Ünitesi

İleri arıtma ünitesi arıtma çıkış suyunu arıtarak istenen kalitede suyu elde etmek için tasarlanmıştır. 10 ana üniteden oluşmaktadır, bunlar; UF besleme havuzu ve pompa istasyonu, Koagülant dozaj istasyonu, Ön filtrasyon, Ultrafiltrasyon, RO besleme havuzu ve pompa istasyonu, Ters osmoz sistemi, UF ve RO atıksu havuzu, İleri arıtma binası, MCC, PLC ve SCADA sistemi, Trafo sistemidir.

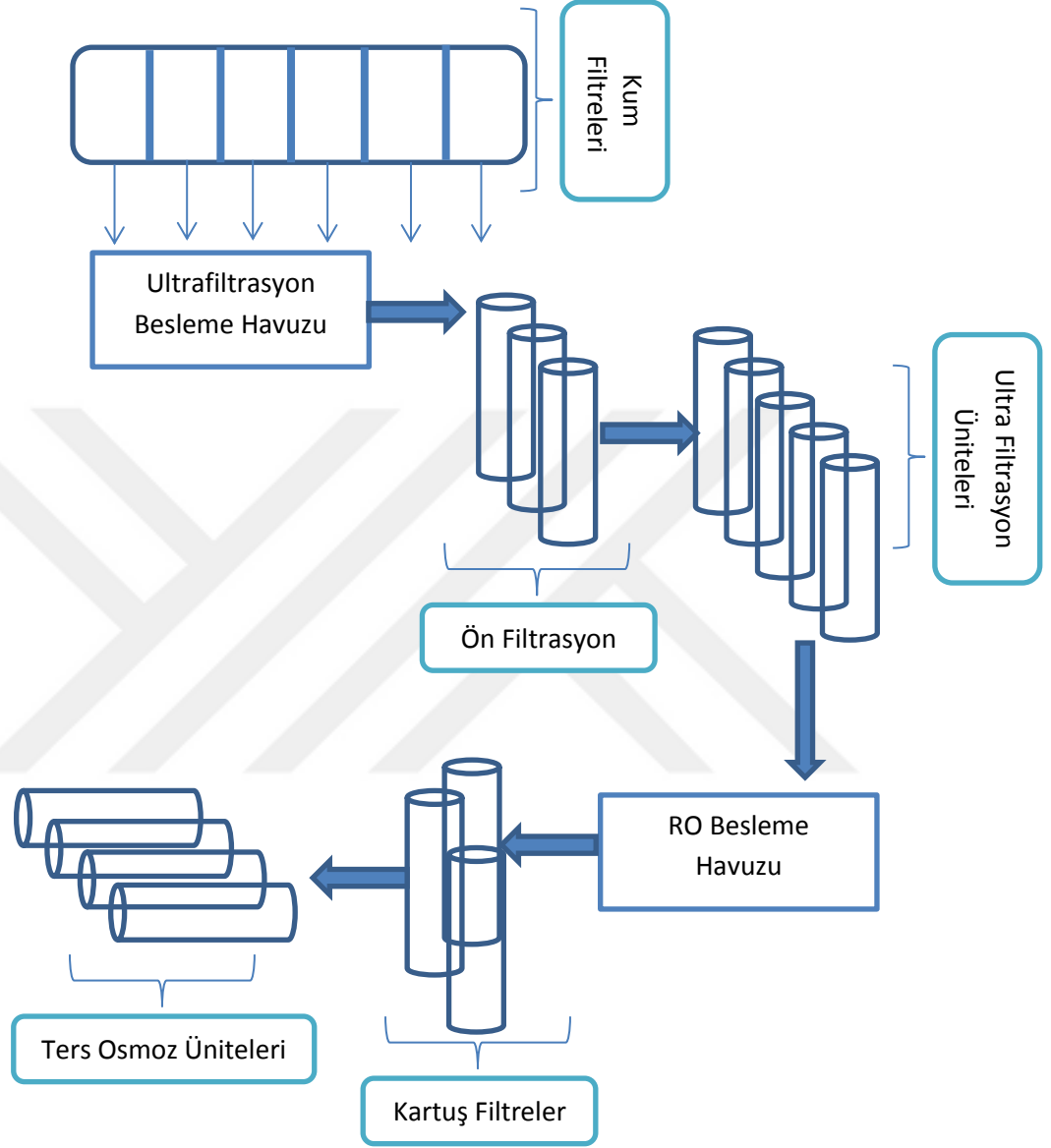
İleri arıtmaya gelen su; ultrafiltrasyon ünitelerin verilmeden önce verimi arttırmak için koagülasyon işlemi gerçekleştirilir. Daha sonra gelen su otomatik temizlemeli filtrelerden geçirilerek kaba partiküllerin tutulması sağlanır. Üstte kalan partikülleri temizlemek için geri yıkama sistemi otomatik olarak devreye girer.

UF prosesinde 0.1-0.01 μ m büyüklüğündeki partiküller tutulur. UF prosesi atıksudan makro molekül ve kolloidlerin konsantre edilerek ayrılmasında kullanılır. Atıksu belirli gözenek boyutundaki geçirgen zarın bir tarafında basınç altında bulunur. Gözenek boyutundan küçük tüm maddeler membrandan geçer, büyük boyutlular kirli su tarafında kalır.

Ultrafiltrasyon sisteminden çıkan permeat önce kartuş filtrelerden geçirilmektedir. 5 mikron gözenek çaplı kartuş filtreler RO sistemleri için istenilen ön filtrasyonu sağlayan sistemler olup yüksek basınç pompalarını ve membranları askıda katı maddelerden korumak için kullanılmaktadır.

RO sisteminde temiz suyu kirli sıvıdan ayıran yarı geçirgen bir membran vardır. Kirli tarafa bir basınç uygulandığında kirli taraftaki su temiz tarafa diffüze olur. Proses sonunda, istenmeyen kimyasal maddeler yoğunlaşarak temiz sudan ayrılır. RO prosesi atıksudan inorganik tuzları ayırmada ve atıksudaki belli organik çözücülerin gideriminde kullanılır. RO prosesi en küçük gözenek boyutuna sahip olan ünitelerdir ve bu sebeple çok yüksek basınca ihtiyaç duymaktadır.

Ultrafiltrasyon ünitelerinin geri yıkamalarında oluşan atıksu, tekrar sisteme geri devir yapılarak atıksu geri kazanımı sağlanmaktadır. Ters Osmoz prosesinden kaynaklanan konsantre sular Nilüfer deresine deşarj edilmektedir. Şekil 3.5.'de ileri arıtma ünitesinin akım şeması gösterilmektedir.

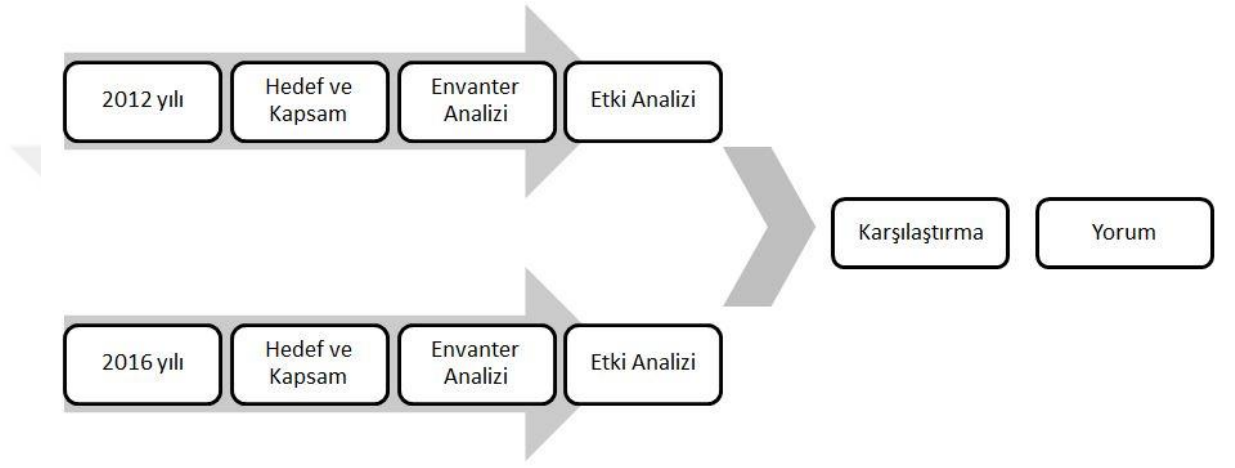


Şekil 3.5. İleri arıtma ünitesi akım şeması

3.2. LCA Uygulaması

3.2.1. Hedef ve Kapsamın Belirlenmesi

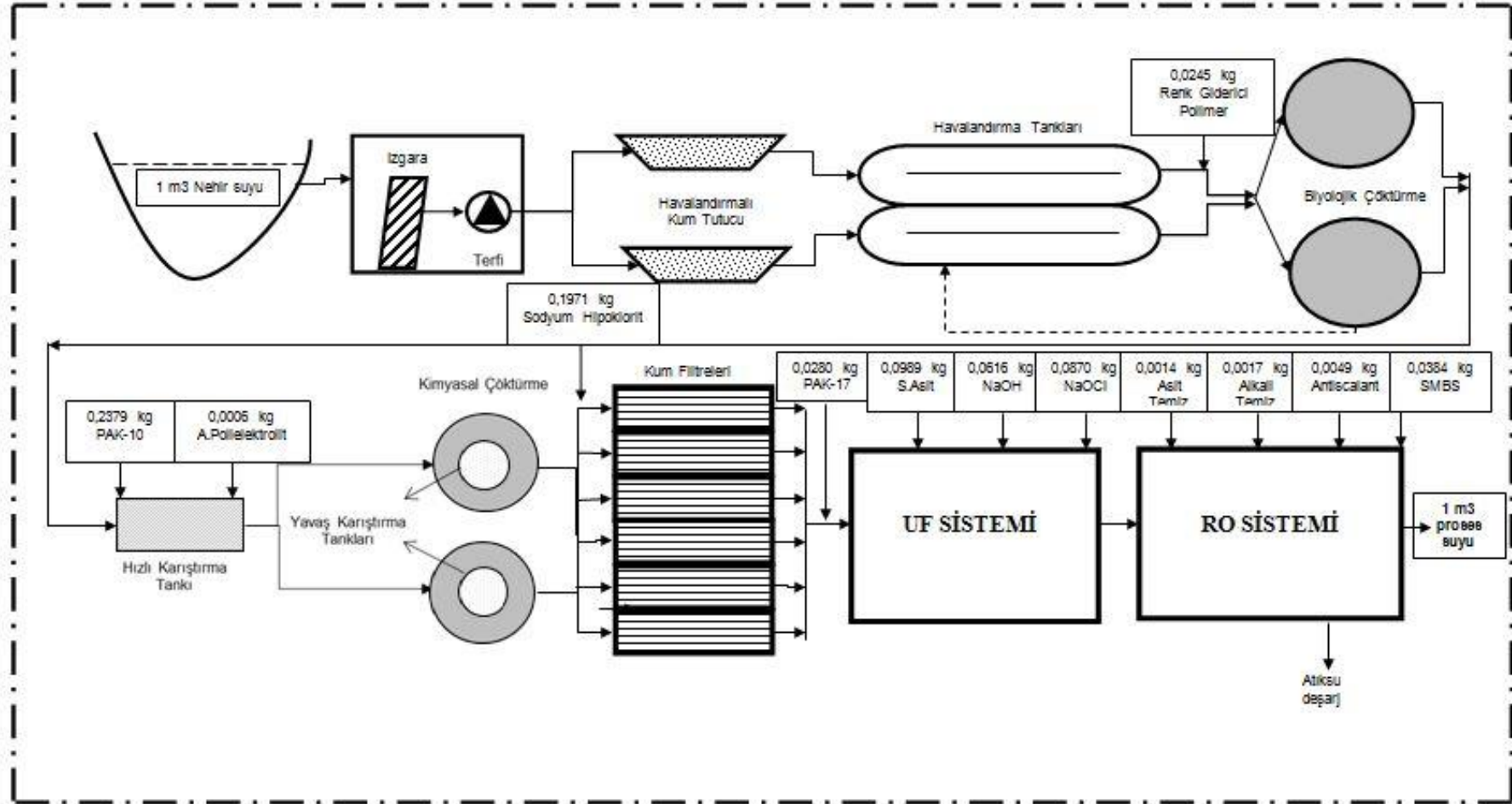
Çalışmanın amacı, Bursa Organize Sanayi Bölgesi'nde yer alan işletmelere temin edilen proses suyunun 1 m³'ünün, konvansiyonel arıtma ve ileri arıtma prosesleri ile üretiminden kaynaklanan çevresel etkilerinin LCA araçları ile incelenmesidir. Tesisin 2012 yılı ve 2016 yılı proses suyu üretimi verileri ile yaşam döngüleri oluşturulmuş, etki analizleri yapılmış ve sonuç olarak yaşam döngüleri karşılaştırılmıştır (Şekil 3.6.).



Şekil 3.6. 2012 ve 2016 yılı proses suyu üretimi LCA akım şeması

Fonksiyonel Birim: Bu tez çalışmasında fonksiyonel birim BOSB Su Üretim Tesisinde üretilen 1 m³ proses suyu olarak seçilmiştir.

Sistem Sınırları: Dere suyunun su üretim tesisine kabulünün ardından konvansiyonel ve ileri arıtma ünitelerinde işlem görmesi, tesis içi su deposuna aktarılması ve bu esnada kullanılan yardımcı kimyasalların nakliyesi ve meydana gelen çevresel emisyonların tasfiyesi aşamaları sistem sınırları dâhilindedir. Sistem sınırları, su alma yapısı (terfi istasyonu), havalandırılmalı kum tutucu ünitesi, havalandırma tankları, biyolojik çöktürme tankları, hızlı karıştırma tankı, klariflokülatörler, hızlı kum filtreleri, ultrafiltrasyon sistemi ve ters osmoz sistemi olmak üzere beşikten kapıya (cradle to gate) olarak belirlenmiştir (Şekil 3.7.).

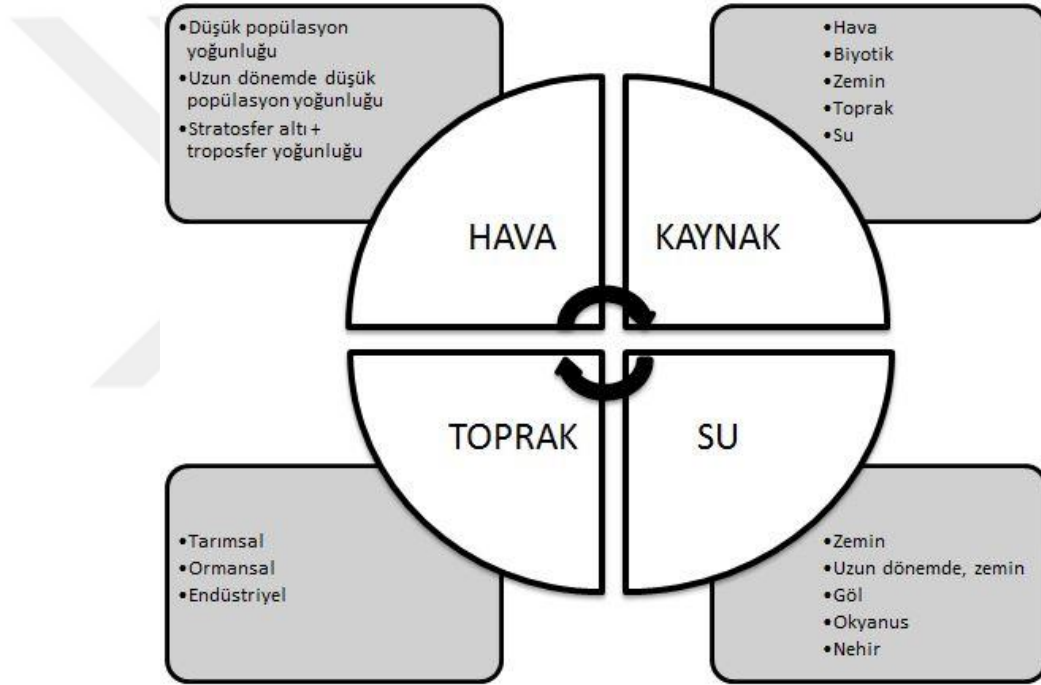


Şekil 3.7. Çalışmanın sistem sınırları

3.2.2. Envanter Analizi

Bu tez çalışmasında, kullanılan kimyasal tüketim miktarları ve enerji verileri BOSB Su Üretim Tesisi 2012 yılı ve 2016 yılı iç raporları baz alınarak hazırlanmıştır. Yaşam Döngüsü Envanteri, halihazırdaki Ecoinvent 3 veri tabanından alınan proses verileri ile oluşturulmuştur. Aynı zamanda SimaPro 8.2.0 yazılımının veri tabanlarından yararlanılmıştır.

Ecoinvent veri tabanında, materyaller, enerji, taşıma ve atık yönetimine ait bilgiler yer almaktadır. Hava, kaynak, toprak ve su kategorilerine ayrılan Ecoinvent veri tabanının alt kategorileri Şekil 3.8.' de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Ecoinvent veri tabanının kategorileri ve alt kategorileri

Burada yer alan su, hava ve toprak kategorileri “alıcı bölüm” olarak anılmakta olup kirletici emisyonlar için kullanılmaktadır. Alt kategoriler çevresel konuları, kategoriler ise etki değerlendirme yöntemini açıklamaktadır (Öztürk 2012).

Varsayımlar

- i. İşletmelerde üretilen proses suyunun kullanımı ve atıksu formuna dönüşüp tekrar arıtılması (atık senaryoları) sistem sınırlarına dâhil edilmemiştir.
- ii. Çamur susuzlaştırma ünitesi ile son terfi yapısı sistem sınırlarına dâhil edilmemiştir.
- iii. BOSB Su Üretim Tesisi' nin konvansiyonel arıtma ve ileri arıtma proseslerinde kullanılan kimyasallar Marmara Bölgesi'nin çeşitli illerinden temin edilerek tesise gelmektedir. Bu kimyasalların taşınması işlemleri sırasında çeşitli varsayımlarda bulunulmuş ve bu varsayımlara göre sarf edilen mesafeler yaklaşık olarak aşağıda verilmiştir:

ŞEHİRLER	MESAFE
• Yalova - Bursa	80 km
• Kocaeli - Bursa	130 km
• İstanbul - Bursa	140 km
• İstanbul - Bursa	140 km
• Bursa - Bursa	5 km

- iv. Taşıma için kullanılan araçların kapasiteleri farklı olmakla birlikte araçların %100 dolu olduğu ve boş döndüğü kabul edilmiştir.
- v. Elektrik verileri için SimaPro veri tabanında bulunan Türkiye'ye ait envanter verileri (orta voltaj) baz alınmıştır.
- vi. Su kalitesinde görülen mevsimsel değişiklikler ele alınmamıştır.

Hesaplama Prosedürü

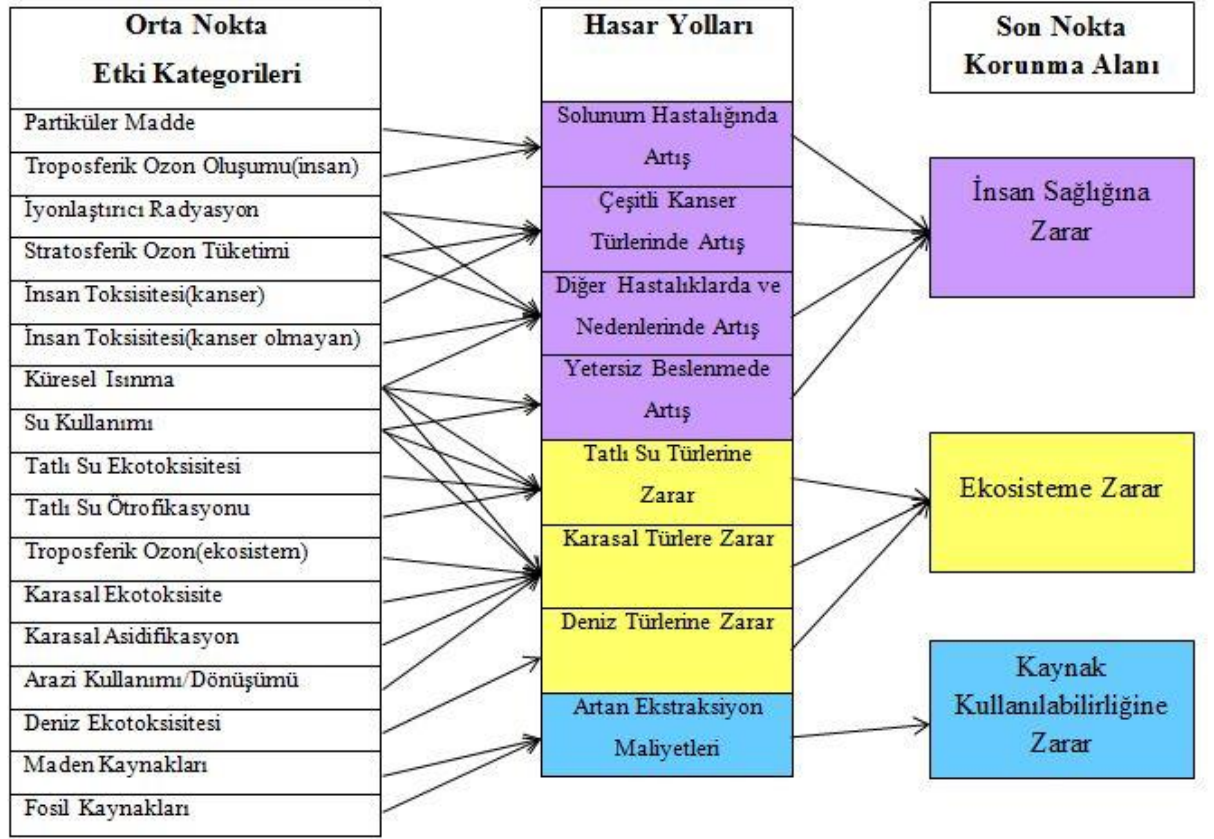
Ele alınan veriler, BOSB Su Üretim Tesisinde üretilen 1 m³ proses suyuna karşılık gelen ağırlıklar baz alınarak hesaplanmıştır. Ayrıca taşıma verileri, taşınan materyallerin ağırlık değerleri ve sarf edilen mesafenin çarpılmasıyla elde edilen “kgkm” birimi cinsinden hesaplanarak SimaPro 8.2.0 yazılımında kullanılmıştır.

3.2.3. Etki Analizi

Çalışmada orta nokta ve son nokta prensibine göre uyumlaştırılmış yaşam döngüsü etki değerlendirme metodu ReCiPe kullanılmıştır. Bu yöntemde karakterizasyonu elde etmek için iki temel yol vardır. Bunlar orta nokta ve son nokta seviyeleridir. İnsan sağlığı, ekosistem kalitesi ve kaynak kıtlığı olmak üzere üç koruma alanı için uygulanmaktadır.

Orta nokta düzeyindeki karakterizasyon faktörleri, nedensel etki yolu boyunca bulunur. Orta nokta seviyesinde, çevresel mekanizma, etki kategorisine atanan her çevresel akış için aynıdır. Son nokta seviyesindeki karakterizasyon faktörleri insan sağlığı, ekosistem kalitesi ve kaynak kıtlığı olan koruma alanlarının üçünden birine etkiyi yansıtmaktadır. İki yaklaşım da birbirini tamamlayıcıdır. Orta nokta karakterizasyonu çevresel akışlarla daha güçlü ilişkiye sahiptir ve genel olarak daha düşük parametre belirsizliği vardır. Fakat son nokta karakterizasyonu çevresel akışlarla alakalı olarak daha kolay yorumlanmaktadır. ReCiPe, hem orta nokta hem de son nokta özelliklerini belirleme faktörlerinin hesaplanması için neden-sonuç yollarının uyumlu bir şekilde uygulanmasını sağlar (Goedkoop ve ark. 2013).

İnsan sağlığı üzerindeki etki, hastalığa/ölüme neden olan sağlık etkilerini ve kaybedilen yaşam yıllarını tanımlamaktadır. Ekosistem kalitesi, türlerin karasal, tatlı su ve deniz suyu ekosistemlerinde ayrı ayrı alan ve zamana göre kayıplarını göstermektedir ($\text{tür} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{yıl}$ veya $\text{tür} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{yıl}$). Kaynak kıtlığı, gelecekteki maden ve fosil kaynakların tüketilmesinde ekstra maliyetleri temsil etmektedir. Orta nokta ve son nokta karakterizasyon faktörleri birbirini tamamlayıcı niteliktedir. Son nokta karakterizasyon faktörleri, orta nokta karakterizasyon faktörlerinden türetilmektedir (Şekil 3.9.) (Goedkoop ve ark. 2013).



Şekil 3.9. Etki kategorileri ve korunma alanları ile ilişkisi (Goedkoop ve ark. 2013)

Yazılımda kullanılacak ve bir veya daha fazla normalleştirme seti mevcuttur (Çizelge 3.1). Bu çalışmada normalize grafiklerin elde edilmesi için ReCiPe yönteminin normalleştirme setlerinden Europe 2000 seçilmiştir.

Çizelge 3.1. Normalleştirme seti

Metot	Normalleştirme Setleri
ReCiPe	Europe, 2000
	World, 2000

Etki analizi sonuç değerlendirmesi Bulgular ve Tartışma bölümünde verilmiştir.

3.2.4. Yorumlama

Bu çalışmanın yorum basamağı, Bulgular ve Tartışma bölümünde ayrıntılı olarak verilmiştir.

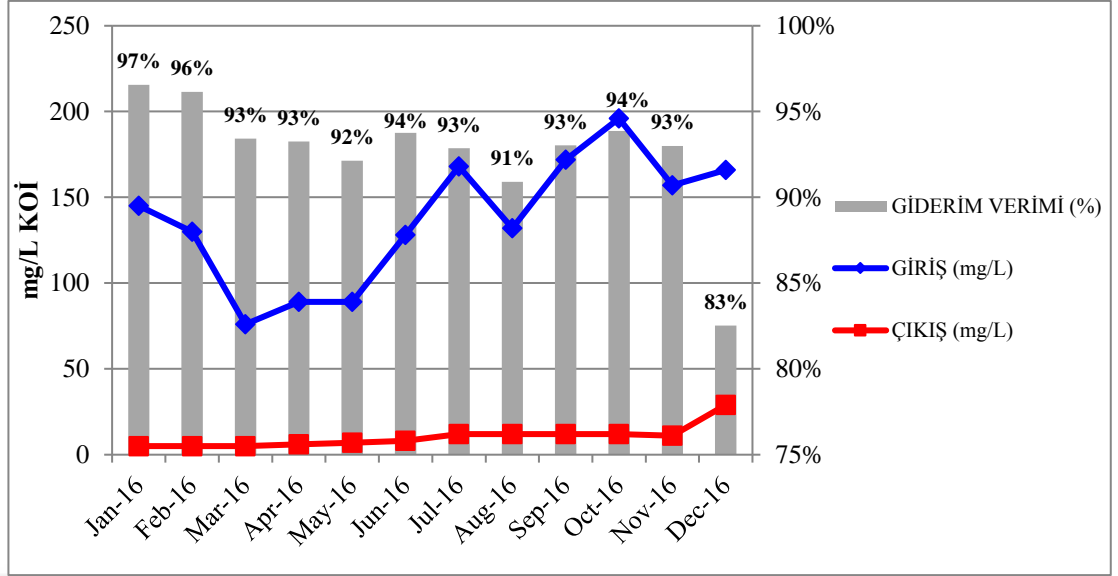
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. BOSB Su Üretim Tesisi'nin Arıtma Performansı

BOSB Su Üretim Tesisi'ne su beslemesi Nilüfer Çayı'ndan yapılmaktadır. Nilüfer Çayı'ndan tesise kabul edilen ve arıtılan su, BOSB laboratuvarında analizlenerek sonuçlar kayıt altına alınmaktadır. 2016 yılı analizleri aylık olarak değerlendirilmiş ve 4 kirlilik parametresi (KOİ, AKM, Renk ve İletkenlik) baz alınarak tesis çalışma performansı aşağıdaki grafiklerde gösterilmiştir.

KOİ (Kimyasal Oksijen İhtiyacı)

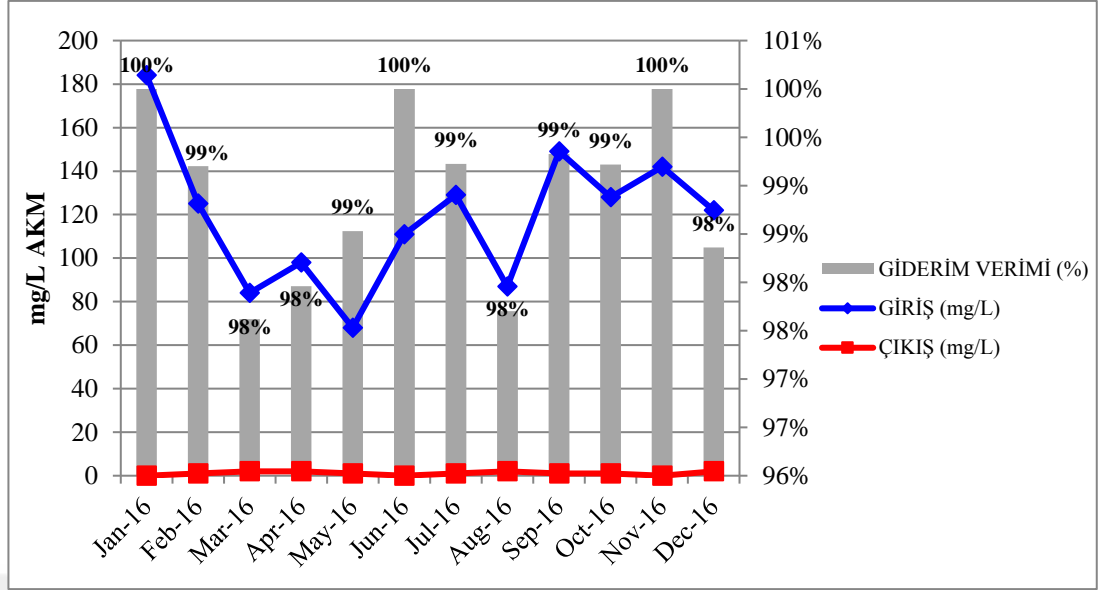
BOSB Su Üretim Tesisi 2016 KOİ değerleri, aylara göre giriş-çıkış ve giderim verimi olarak üç ayrı kategoride değerlendirilmiştir. 2016 yılı giriş KOİ değerleri incelendiğinde en yüksek KOİ değerinin 196 mg/L olarak Ekim ayında, en düşük KOİ değerinin 76 mg/L olarak Mart ayında olduğu görülmektedir. 2016 yılı çıkış KOİ değerleri incelendiğinde en yüksek KOİ değerinin 29 mg/L olarak Aralık ayında, en düşük KOİ değerinin 5 mg/L olarak Ocak, Şubat ve Mart aylarında elde edildiği görülmektedir. 2016 yılı KOİ giderim verimi aylara göre en yüksek %97 olarak Ocak ayında, en düşük ise %83 olarak Aralık ayında elde edilmiştir. BOSB Su Üretim Tesisi giriş-çıkış KOİ değerleri ve giderim verimleri ortalama olarak ele alınırsa, $ORT_{KOİgiriş}=137$ mg/L, $ORT_{KOİçıkış}=10$ mg/L ve $ORT_{gid.ver.}=\%93$ olarak elde edilmiştir (Şekil 4.1.).



Şekil 4.1. BOSB Su Üretim Tesisi 2016 yılı KOİ giriş-çıkış değerleri ve giderim verimleri

AKM (Askıda Katı Madde)

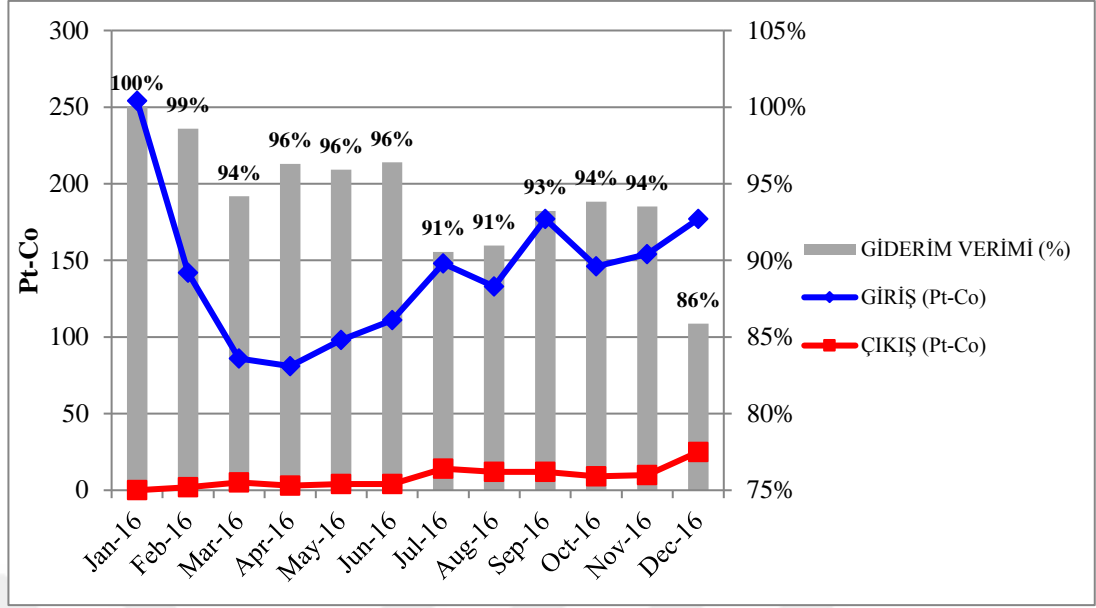
BOSB Su Üretim Tesisi 2016 AKM değerleri, aylara göre giriş-çıkış ve giderim verimi olarak üç ayrı kategoride değerlendirilmiştir. 2016 yılı giriş AKM değerleri incelendiğinde en yüksek AKM değerinin 184 mg/L olarak Ocak ayında, en düşük AKM değerinin 68 mg/L olarak Mayıs ayında olduğu görülmektedir. 2016 yılı çıkış AKM değerleri incelendiğinde en yüksek AKM değerinin 2 mg/L olarak Mart, Nisan, Ağustos ve Aralık aylarında, en düşük AKM değerinin 0 mg/L olarak Ocak, Haziran ve Kasım aylarında elde edildiği görülmektedir. 2016 yılı AKM giderim verimi aylara göre en yüksek %100 olarak Ocak, Haziran ve Kasım aylarında, en düşük ise %98 olarak Mart, Nisan, Ağustos ve Aralık aylarında elde edilmiştir. BOSB Su Üretim Tesisi giriş-çıkış AKM değerleri ve giderim verimleri ortalama olarak ele alınırsa, $ORT_{AKM_{giriş}}=119$ mg/L, $ORT_{AKM_{çıkış}}=1,1$ mg/L ve $ORT_{gid.ver.}=%99$ olarak elde edilmiştir (Şekil 4.2.).



Şekil 4.2. BOSB Su Üretim Tesisi 2016 yılı AKM giriş-çıkış değerleri ve giderim verimleri

Renk

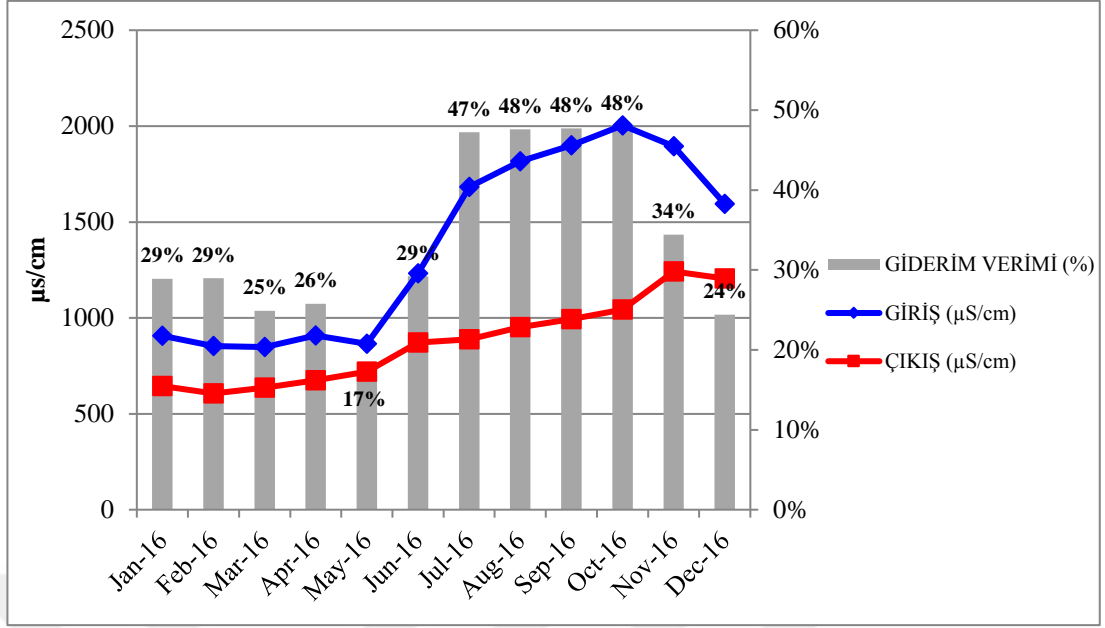
BOSB Su Üretim Tesisi 2016 renk değerleri, aylara göre giriş-çıkış ve giderim verimi olarak üç ayrı kategoride değerlendirilmiştir. 2016 yılı giriş Renk değerleri incelendiğinde en yüksek Renk değerinin 254 pt-Co olarak Ocak ayında, en düşük Renk değerinin 81 pt-Co olarak Nisan ayında olduğu görülmektedir. 2016 yılı çıkış Renk değerleri incelendiğinde en yüksek Renk değerinin 25 pt-Co olarak Aralık ayında, en düşük Renk değerinin 0 pt-Co olarak Ocak, ayında elde edildiği görülmektedir. 2016 yılı Renk giderim verimi aylara göre en yüksek %100 olarak Ocak ayında, en düşük ise %86 Aralık olarak ayında elde edilmiştir. BOSB Su Üretim Tesisi giriş-çıkış Renk değerleri ve giderim verimleri ortalama olarak ele alınırsa, $ORT_{Renkgiriş}=142$ pt-Co, $ORT_{Renkçıkış}=8,3$ pt-Co ve $ORT_{gid.ver.}=\%94$ olarak elde edilmiştir (Şekil 4.3.).



Şekil 4.3. BOSB Su Üretim Tesisi 2016 yılı renk giriş-çıkış değerleri ve giderim verimleri

İletkenlik

BOSB Su Üretim Tesisi 2016 iletkenlik değerleri, aylara göre giriş-çıkış ve giderim verimi olarak üç ayrı kategoride değerlendirilmiştir. 2016 yılı giriş İletkenlik değerleri incelendiğinde en yüksek İletkenlik değerinin 2004 $\mu\text{s/cm}$ olarak Ekim ayında, en düşük İletkenlik değerinin 848 $\mu\text{s/cm}$ olarak Mart ayında olduğu görülmektedir. 2016 yılı çıkış İletkenlik değerleri incelendiğinde en yüksek İletkenlik değerinin 1242 $\mu\text{s/cm}$ olarak Kasım ayında, en düşük İletkenlik değerinin 606 $\mu\text{s/cm}$ olarak Şubat ayında elde edildiği görülmektedir. 2016 yılı İletkenlik giderim verimi aylara göre en yüksek %48 olarak Ağustos, Eylül ve Ekim aylarında, en düşük ise %17 olarak Mayıs ayında elde edilmiştir. BOSB Su Üretim Tesisi giriş-çıkış İletkenlik değerleri ve giderim verimleri ortalama olarak ele alınırsa, $ORT_{iletkenlikgiris}=1375 \mu\text{s/cm}$, $ORT_{iletkenlikçıkış}=873 \mu\text{s/cm}$ ve $ORT_{gid.ver.}=\%34$ olarak elde edilmiştir (Şekil 4.4.).



Şekil 4.4. BOSB Su Üretim Tesisi 2016 yılı iletkenlik giriş-çıkış değerleri ve giderim verimleri

4.2. BOSB Su Üretim Tesisine Ait Yaşam Döngüsü Envanterleri

2012 ve 2016 yıllarına ait konvansiyonel ve ileri arıtma ünitelerinde kullanılan ham kimyasal, elektrik ve taşıma verilerinin envanter verilerine dönüştürülmesi aşağıdaki başlıklarda sunulmuştur.

4.2.1 BOSB Su Üretim Tesisi' nin 2012 Yılına Ait Yaşam Döngüsü Envanterleri

BOSB Su üretim tesisi yetkilileri tarafından hazırlanmış olan 2012 yılına ait iç raporlardan kimyasal tüketim miktarları ele alınmıştır. Bu veriler BOSB Su Üretim Tesisinde üretilen 1 m³ proses suyuna karşılık gelen ağırlıklar baz alınarak hesaplanmıştır. Çizelge 4.1.'de 1 m³ proses suyuna karşılık gelen kimyasal malzeme miktarları gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. 1 m³ proses suyu üretimi için konvansiyonel arıtma ve ileri arıtma kimyasal malzeme envanter verileri (2012)

	2012 Yılı		(kg/m ³)
	KONVANSİYONEL ARITMA KİMYASALLARI	Biyolojik arıtma	Renk giderici
Kimyasal arıtma		Koagülant	0,1339
		Flokülant	0,0002
		Sodyum Hipoklorit	0,1183
İLERİ ARITMA KİMYASALLARI	Ultrafiltrasyon Sistemi	Koagülant	0,0277
		Sülfürik Asit	0,0878
		Kostik	0,0726
		Sodyum Hipoklorit	0,1034
	Ters Osmoz Sistemi	Asit yıkama	0,0013
		Alkali yıkama	0,0018
		Antiscalanat	0,0048
		SMBS	0,0252

Konvansiyonel arıtma üniteleri ve ileri arıtma ünitelerinde harcanan 2012 yılına ait elektrik verilerinin fonksiyonel birim ile ilişkilendirilmesi sonucunda elde edilen miktarlar Çizelge 4.2.' de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. 1 m³ proses suyu üretimi için konvansiyonel arıtma ve ileri arıtma elektrik envanter verileri (2012)

KONVANSİYONEL ARITMA ELEKTRİK VERİLERİ	2012 Yılı	(kwh/m ³)
	Fiziksel Arıtma	0,061
Biyolojik Arıtma	0,194	
Kimyasal Arıtma	0,062	
İLERİ ARITMA ELEKTRİK VERİLERİ	Ultrafiltrasyon Sistemi	0,36
	Ters Osmoz Sistemi	1,25

Marmara Bölgesi'nin çeşitli illerinden temin edilerek tesise gelen konvansiyonel arıtma ve ileri arıtma ünitelerinde kullanılan kimyasalların, taşıma mesafeleri fonksiyonel birim ile ilişkilendirildikten sonra “kgkm” birimi cinsinden elde edilen değerler Çizelge 4.3.' de gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. 1 m³ proses suyu üretimi için konvansiyonel arıtma ve ileri arıtma taşıma envanter verileri (2012)

KONVANSİYONEL ARITMA TAŞIMA VERİLERİ	2012 yılı	(kgkm)
	Biyolojik Arıtma	1,9374
Kimyasal Arıtma	17,4016	
	15,3817	
	0,0311	
İLERİ ARITMA TAŞIMA VERİLERİ	Ultrafiltrasyon Sistemi	3,5956
		9,4345
		13,4443
		0,4389
	Ters Osmoz Sistemi	2,0179
		0,6781
		0,2283
		0,1754

Biyolojik arıtma ve kimyasal arıtma ünitelerinin çökeltme tanklarının diplerinde meydana gelen çamurlar Çizelge 4.4.' de gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. 1 m³ proses suyu üretimi için çamur envanterleri(2012)

2012 yılı	(kg/m ³)
Biyolojik Arıtma	0,0843 kg
Kimyasal Arıtma	0,1618 kg

4.2.2.BOSB Su Üretim Tesisi'nin 2016 Yılına Ait Yaşam Döngüsü Envanterleri

2012 yılı verilerinde olduğu gibi 2016 yılı verilerine de BOSB Su Üretim Tesisi iç raporlarından ulaşılmıştır. Kimyasalların tüketimi fonksiyonel birim olarak belirlenen 1 m³ proses suyu ile ilişkilendirilerek Çizelge 4.5.' de gösterilen değerler elde edilmiştir.

Çizelge 4.5. 1 m³ proses suyu üretimi için konvansiyonel arıtma ve ileri arıtma kimyasal malzeme envanter verileri (2016)

	2016 Yılı		(kg/m ³)
	KONVANSİYONEL ARITMA KİMYASALLARI	Biyolojik Arıtma	Renk giderici
Kimyasal Arıtma		Koagülant	0,1079
		Flokülant	0,0004
		Sodyum Hipoklorit	0,0739
İLERİ ARITMA KİMYASALLARI	Ultrafiltrasyon Sistemi	Koagülant	0,0302
		Sülfürik Asit	0,1203
		Kostik	0,0491
		Sodyum Hipoklorit	0,0691
	Ters Osmoz Sistemi	Asit yıkama	0,0025
		Alkali yıkama	0,0029
		Antiscalanat	0,0042
		SMBS	0,0689

2016 yılına ait elektrik verilerinin fonksiyonel birim ile ilişkilendirilmesi sonucunda “kwh” birimi cinsinden elde edilen miktarlar Çizelge 4.6.'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.6. 1 m³ proses suyu üretimi için konvansiyonel arıtma ve ileri arıtma elektrik envanter verileri (2016)

KONVANSİYONEL ARITMA ELEKTRİK VERİLERİ	2016 Yılı	(kwh/m³)
	Fiziksel Arıtma	0,059
Biyolojik Arıtma	0,185	
Kimyasal Arıtma	0,060	
İLERİ ARITMA ELEKTRİK VERİLERİ	Ultrafiltrasyon Sistemi	0,36
	Ters Osmoz Sistemi	1,25

İstanbul, Kocaeli, Yalova ve Bursa illerinden temin edilerek tesise gelen su şartlandırma için kullanılan kimyasalların, taşıma mesafeleri fonksiyonel birim ile ilişkilendirildikten sonra “kgkm” birimi cinsinden elde edilen değerler Çizelge 4.7.’ de gösterilmiştir.

Çizelge 4.7. 1 m³ proses suyu üretimi için konvansiyonel arıtma ve ileri arıtma taşıma envanter verileri (2016)

KONVANSİYONEL ARITMA TAŞIMA VERİLERİ	2016 yılı	(kgkm)
		Biyolojik Arıtma
KONVANSİYONEL ARITMA TAŞIMA VERİLERİ	Kimyasal Arıtma	14,0310
		9,6055
		0,0617
		3,9222
İLERİ ARITMA TAŞIMA VERİLERİ	Ultrafiltrasyon Sistemi	6,3791
		8,9881
		0,6014
		5,5148
	Ters Osmoz Sistemi	0,5932
		0,3769
		0,3314

Biyolojik arıtma ve kimyasal arıtma ünitelerinin çökeltme tanklarının diplerinde meydana gelen çamurlar Çizelge 4.8.'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.8. 1 m³ proses suyu üretimi için çamur envanterleri(2016)

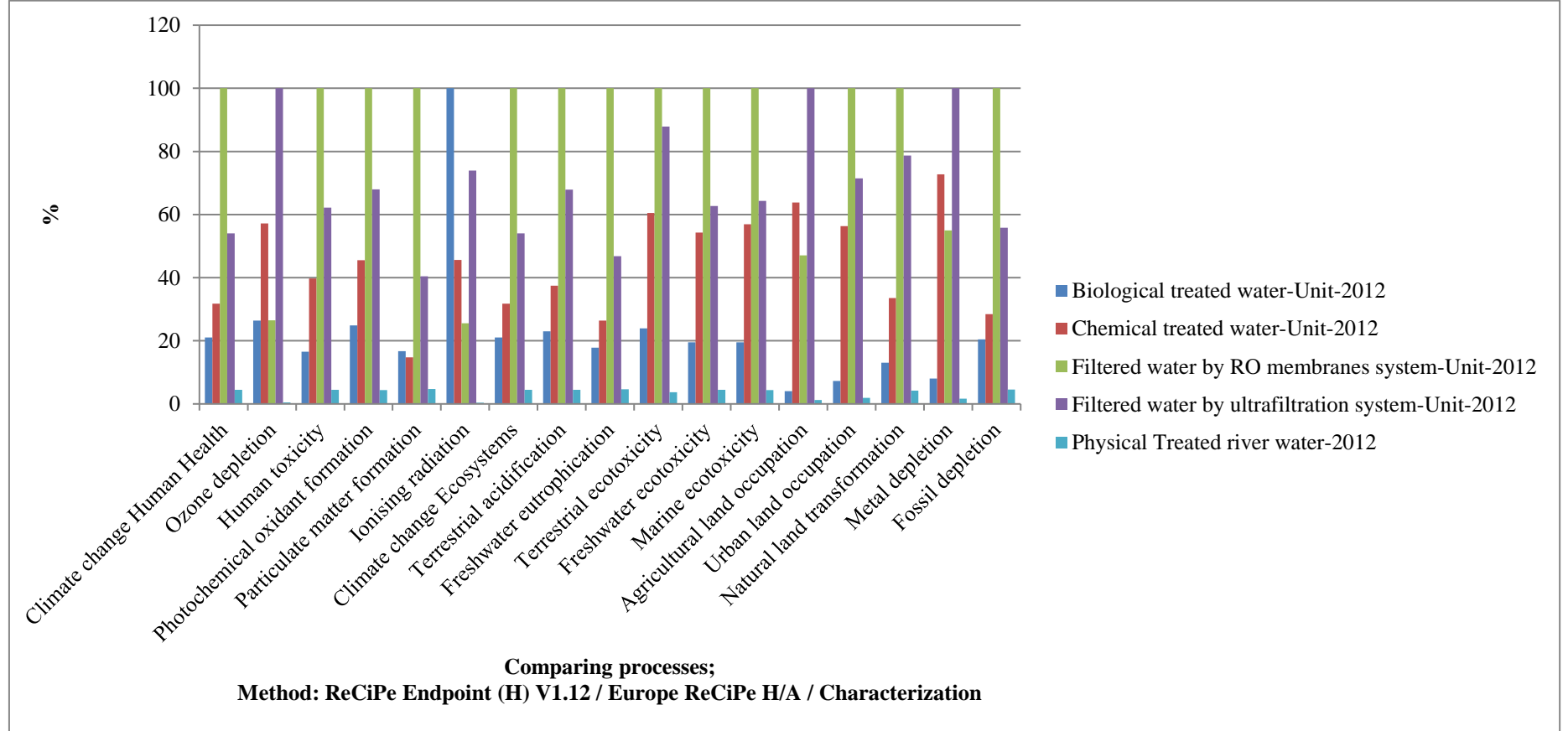
Birim Tüketim (kg/m³)	2016 yılı
Biyolojik Arıtma	0,0843 kg
Kimyasal Arıtma	0,1618 kg

4.3. Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirme Sonuçları

Bu tez çalışmasında orta nokta ve son nokta prensibine dayanan ReCiPe Endpoint (H) v1.12/ Europe ReCiPe H/A yöntemi kullanılmıştır. Bu metot, iklim değişikliği - insan sağlığı, ozon tabakasının incelmeye, insan toksisitesi, fotokimyasal oksidasyon oluşumu, partiküler madde oluşumu, iyonlaştırıcı radyasyon, iklim değişikliği - ekosistem, karasal asitleşme, tatlı su ekotoksitesitesi, deniz ekotoksitesitesi, tarım arazisi işgali, kentsel arazi işgali, doğal arazi işgali, maden tükenmesi ve fosil tükenmesi etki kategorilerini içermektedir. Son nokta olarak ise insan sağlığı, ekosistem ve kaynaklara zarar kategorilerini içermektedir. Ayrıca normalize grafiklerinin elde edilmesi için ReCiPe yönteminin normalleştirme setlerinden Europe 2000 seçilmiştir.

4.3.1 BOSB Su Üretim Tesisi'nin 2012 Yılına Ait Çevresel Yükü

Şekil 4.5.'te konvansiyonel arıtma ve ileri arıtma ünitelerinin 2012 yılı verilerine ilişkin oluşturulan karakterizasyon grafiği yer almaktadır. “Ters Osmoz Membran” sistemlerinin genel olarak bütün etki kategorilerinde en fazla çevresel etki gösteren ünite olduğu görülmektedir. Bunun nedeni ters osmoz membran sistemlerinde yüksek basınç pompalarının bulunması ve bu pompaların diğer ünitelerde yer alan pompalara nazaran daha fazla enerji sarf etmesi olarak yorumlanabilmektedir.



Şekil 4.5. 1 m³ proses suyu üretimi için LCA karakterizasyon sonuçları (2012 yılı)

Ozon tabakasının incelenmesi, tarım arazisi işgali ve metallerin tükenmesi kategorilerine bakıldığında en fazla çevresel etki gösteren ünitenin “Ultrafiltrasyon Sistemleri” nin olduğu görülmektedir. Bu kategoriler genelde elverişli alanlar, bitki örtüsü ve tarımsal arazilere etki gösteren zarar faktörünü esas almaktadır. Envanter bölümünde kullanılan kimyasal verileri incelendiğinde en fazla kimyasal tüketimi ultrafiltrasyon sistemlerinde görülmektedir. Kimyasal kullanımından dolayı yukarıda bahsi geçen etki kategorilerine etki en fazladır.

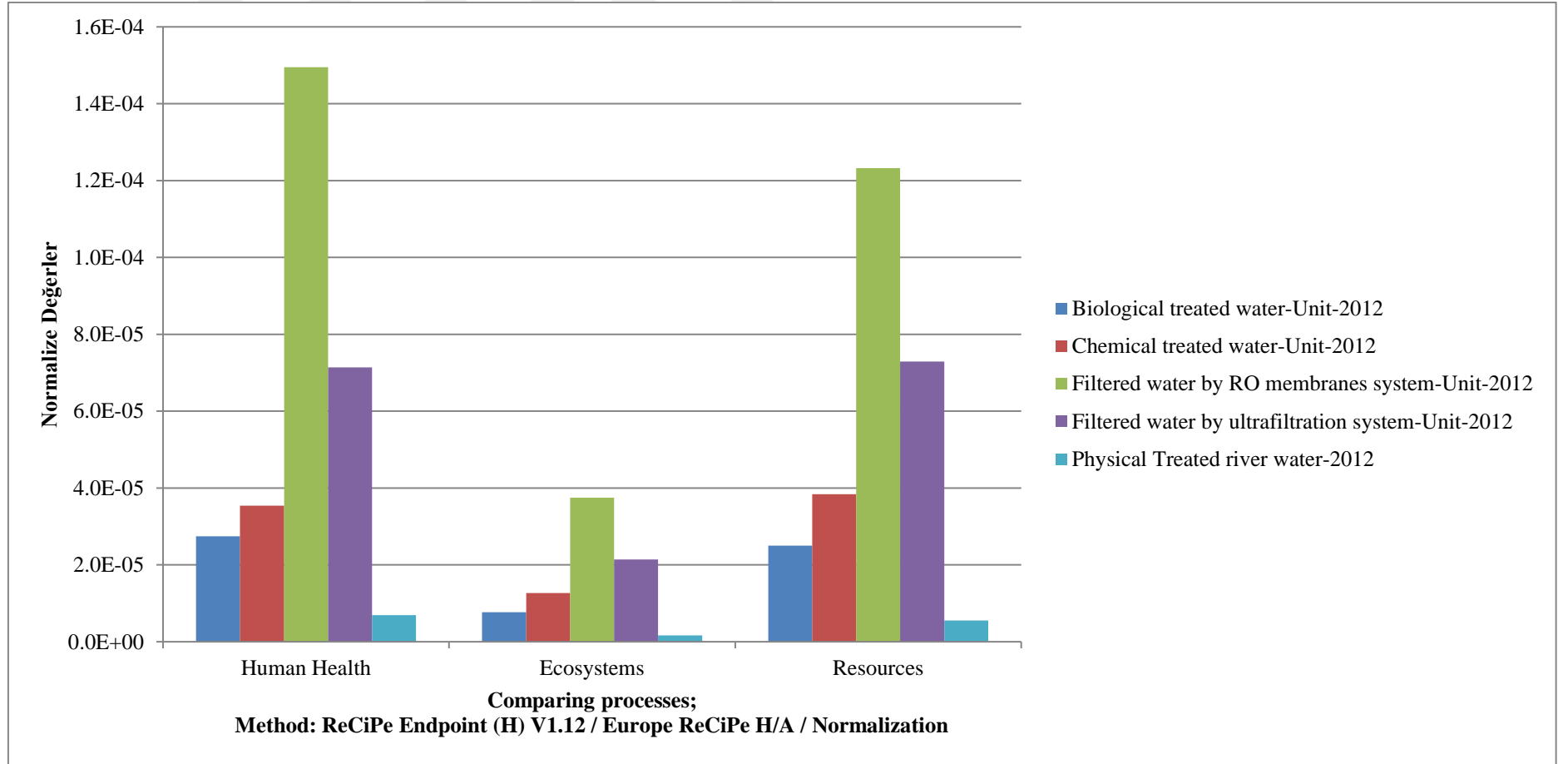
Biyolojik arıtma ünitesinde, atıksu içerisindeki mikroorganizmalar gelişerek suda kirliliğe neden olan tüm organik ve kirlenici maddeleri yok etmektedir. Bu işlem sonucunda atıksu içerisindeki organik maddeler biyolojik olarak ayrıştırılmış olmaktadır. İyonlaştırıcı radyasyonun maddeler üzerine biyolojik etkileri olduğu ve maddelere yüksek biyolojik zararlar verdiği bilinmektedir. Biyolojik arıtma ünitesinde gerçekleşen mikrobiyal faaliyetler, iyonlaştırıcı radyasyon etkisinin doğru orantılı olarak artmasına sebep olmaktadır. Şekilde “Biyolojik Arıtma” ünitesinin iyonlaştırıcı radyasyon kategorisi üzerinde en fazla çevresel etki göstermesinin nedeni bundandır.

“Fiziksel Arıtma” ünitesinde kimyasal kullanımının olmaması ve elektrik sarfiyatlarının düşük olması tüm etki kategorilerinde en düşük çevresel etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

Şekil 4.6.’daki grafikte 1 m³ proses suyunun 2012 yılı verilerine göre normalize edilmiş LCA sonuçları yer almaktadır. Normalizasyon ele alınan sistemden kaynaklanan herhangi bir kategorinin etkisinin, ürünün üretildiği ve kullanıldığı bölgedeki toplam değerine bölünmesiyle elde edilir.

“Ters Osmoz Membran” sistemlerinin ReCiPe metodunun son nokta kategorilerinin üçünde de en yüksek çevresel etki gösterdiği görülmektedir.

LCA karakterizasyon sonuçlarının değerlendirilmesinde ters osmoz membran sistemlerinde yüksek basınç pompalarının bulunması nedeniyle yüksek enerji sarf ettiğiinden bahsedilmişti. Bu gerekçeye dayanarak elektrik üretimi aşamaları incelenmiştir.



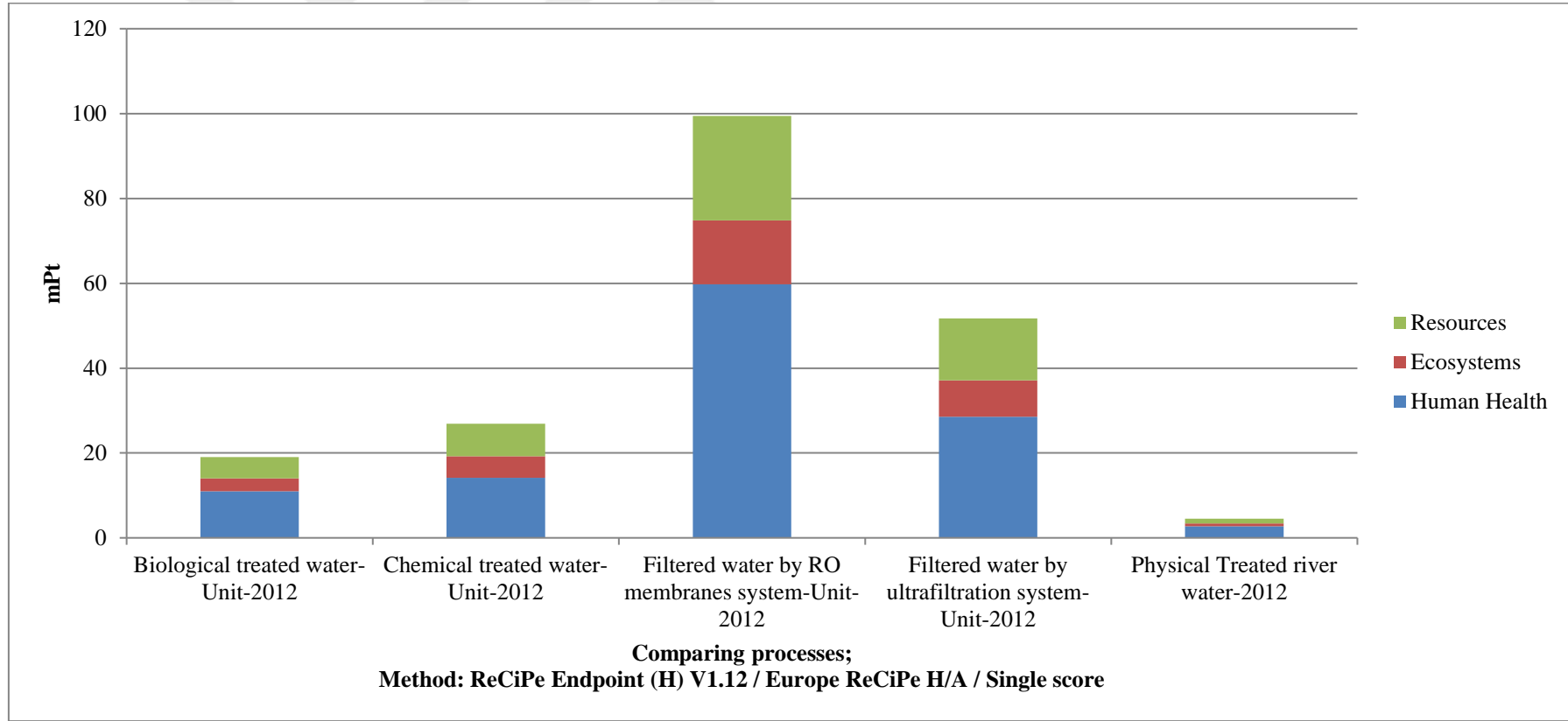
Şekil 4.6. 1 m³ proses suyu üretimi için normalize edilmiş LCA sonuçları (2012 yılı)

Enerji üretiminde kullanılan fosil yakıtlar, kömür, doğalgaz ve petrol gibi doğal kaynaklar sınırlı olmakla birlikte enerji tüketimi giderek artmaktadır (Kadioğlu 1996). Bu nedenle ters osmoz membran sistemlerinin kaynak tüketimi üzerine etkisi en fazladır.

Enerji üretimi esnasında termik santrallerin ve hidroelektrik santrallerin çevre üzerine birçok etkisi bulunmaktadır. Hidroelektrik santraller, iklimsel etkiler, bazı önemli türlerin yok olması, yaşama alanlarının su altında kalması, yüksekten akan suların su içerisindeki elementleri değiştirerek balıkların ölmesine neden olması gibi çevreye olumsuz etkiler göstermektedir. Termik santraller, asit yağmurlarının oluşması, bununla bağlantılı olarak topraktaki azot fiksasyonunun engellenmesi ile bitkilerin gelişmesine engel olma, uçucu kül ve kazan atıklarının içerdiği metal veya diğer bileşiklerin doğal su kaynaklarına sızması/taşınması gibi çevreye olumsuz etkiler göstermektedir. Bu gibi nedenlerle ters osmoz membran sistemlerinin ekosistem üzerine etkisi en yüksektir.

Ters osmoz membran sistemlerinin insan sağlığı kategorisine etkisi de diğer kategorilerde olduğu gibi en yüksektir. Termik santrallerin insan sağlığına zararlı emisyonları oluşturması, nükleer santral atıklarının yapı malzemesi olarak kullanılması ve bu malzeme ile yapılan evlerde insanların yaşaması, radyasyonun bitki ve deniz ürünlere taşınması ve bu ürünleri insanların tüketmesi ile birlikte insan sağlığını tehdit edici özellikler görülmektedir (Kadioğlu 1996).

Şekil 4.7.' de 2012 yılına ait LCA sonuçlarının tek değer (single score) gösterimi yer almaktadır. ISO 14042'de belirtildiği üzere LCA çalışmalarında tek değer grafiklerinin gösterimi isteğe bağlı olarak verilir (Çokaygil 2005). Tek değer grafik listelerinde kullanılan birim genellikle "mPt" olmaktadır. Bu grafiklerde esas olan, ürünlerin veya bileşenlerin arasındaki görece farkları kıyaslamak olduğundan, puanların mutlak değeri çok fazla değildir. "Pt" değeri ortalama Avrupa'da yaşayan bir kişinin yıllık çevresel yükünün binde birini temsil etmektedir. (700 mPt = 0,7 Pt) (Baayen 2000).

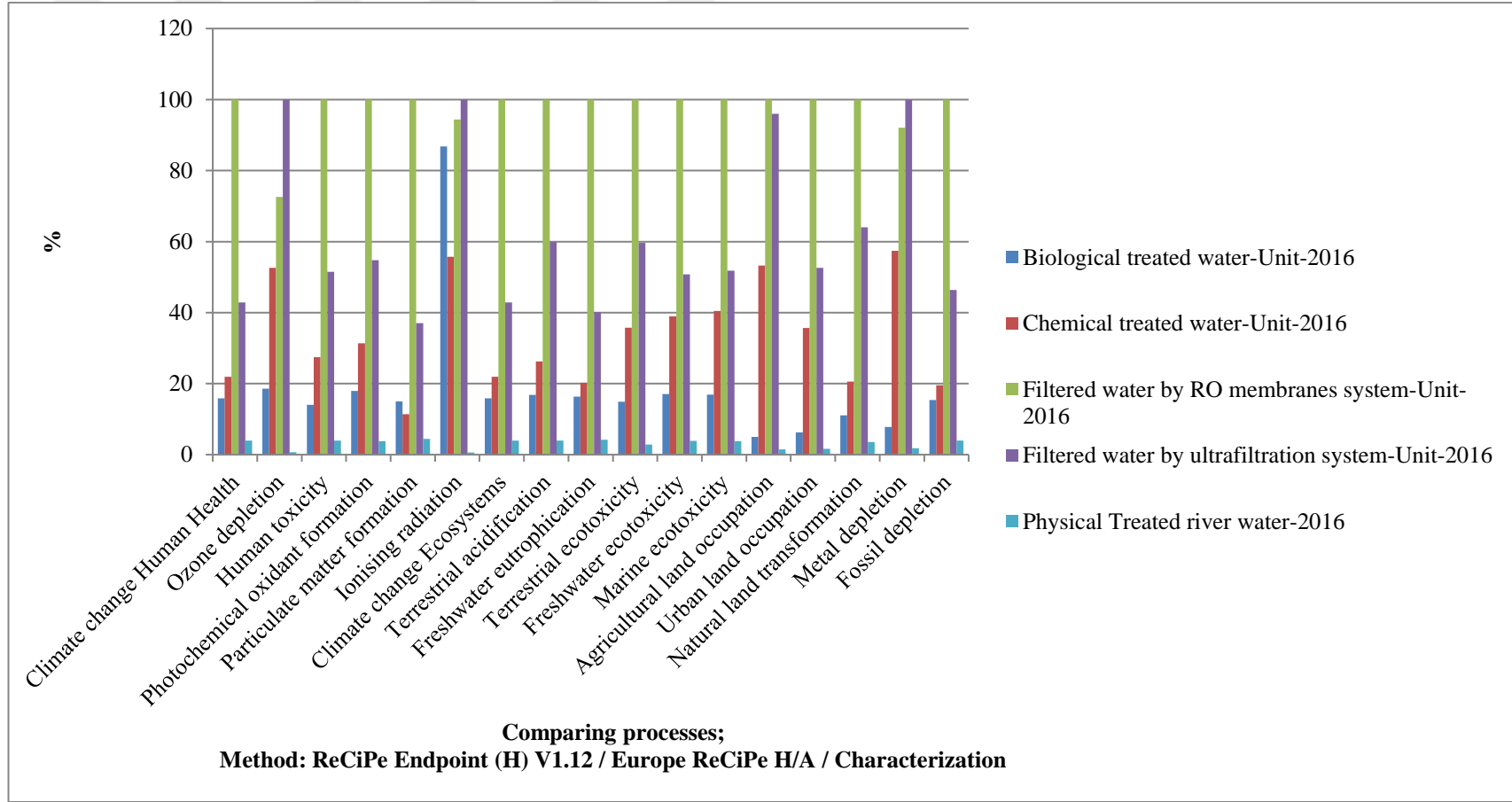


Şekil 4.7. 1 m³ proses suyu üretimi LCA sonuçları – tek değer gösterimi (2012 yılı)

Tek değer gösteriminde elde edilen sonuçlar karakterizasyon ve normalizasyon grafikleri ile benzerlik göstermektedir. Konvansiyonel ve ileri arıtma üniteleri içerisinde, bütün kategorilerde en fazla çevresel etki gösteren nite ‘‘Ters Osmoz Memran’’ sistemleridir. Bunun nedeni ters osmoz membran sistemlerinde sarf edilen fazla enerji olarak yorumlanmaktadır. Bütün kategorilerde en az etkiyi gösteren ünitenin ‘‘Fiziksel Arıtma’’ nitesi olduğu görülmektedir.

4.3.2.BOSB Su retim Tesisi’nin 2016 Yılına Ait evresel Yükü

ISO 14042’ye göre karakterizasyon grafikleri, yapılan LCA çalışmalarında bulunması gereken zorunlu blmlerdendir (okaygil 2005). Bu nedenle 2016 yılına ait çevresel yükler yorumlanırken karakterizasyon grafiği kullanılmıştır. Ayrıca diğer bölümlerden normalizasyon ve tek gösterim (single score) grafikleri isteğe bağlı olarak bu çalışmada verilmiştir.

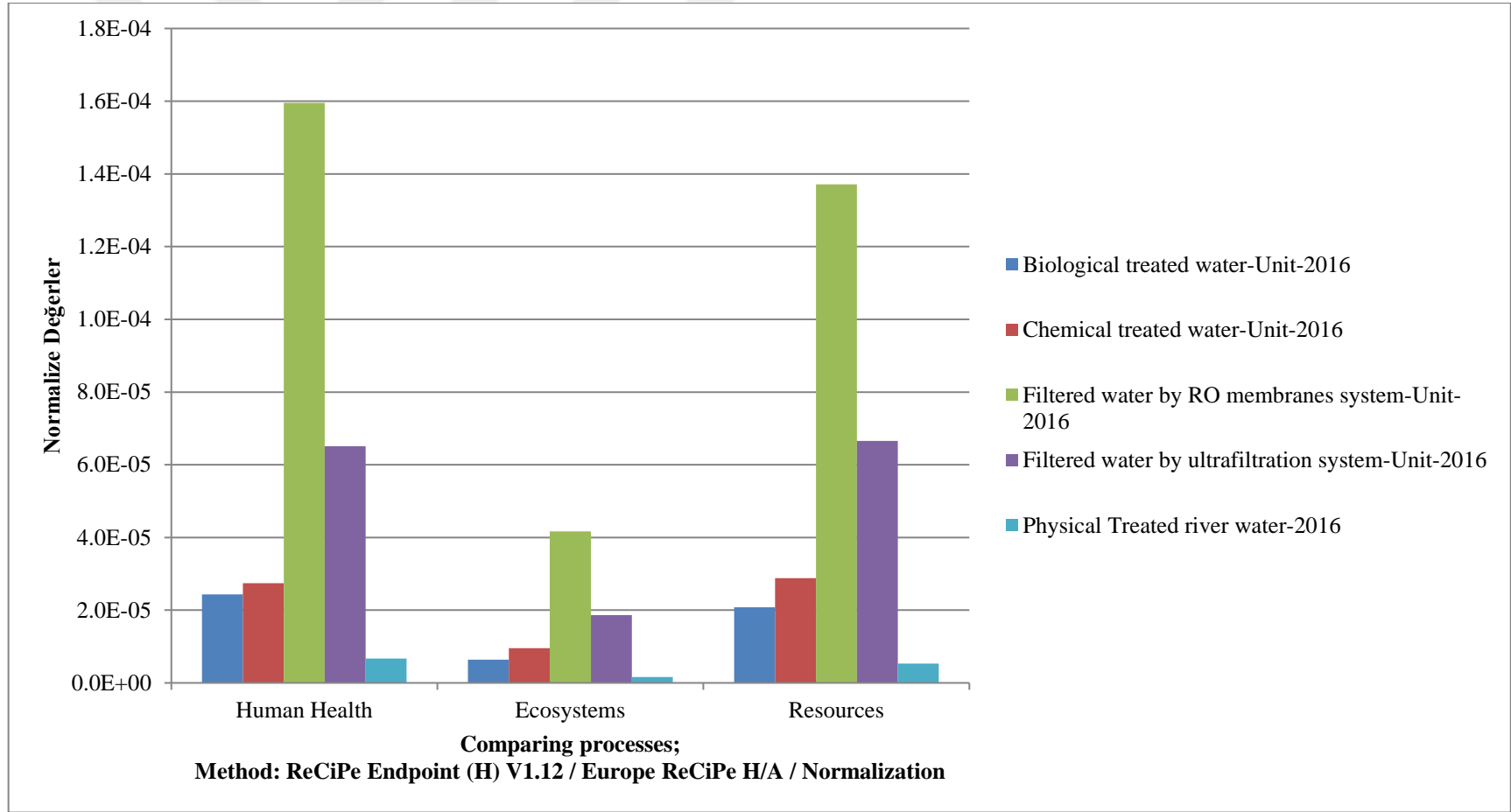


Şekil 4.8. 1 m³ proses suyu üretimi için LCA karakterizasyon sonuçları (2016 yılı)

Şekil 4.8.'de 2016 yılına ait 1 m³ proses suyu üretimi için elde edilen LCA sonuçlarının karakterizasyon grafiği görülmektedir. BOSB Su Üretim Tesisinin tüm üniteleri değerlendirildiğinde genel olarak en fazla çevresel etki gösteren ünitenin “Ters Osmoz Membran” sistemleri olduğu görülmektedir.

Ancak ozon tabakasının incilmesi, tarım arazisi işgali ve metal tükenmesi kategorilerine en fazla çevresel etki gösteren ünitenin “Ultrafiltrasyon Sistemleri” olduğu görülmektedir. 2016 yılı envanter verileri incelendiğinde ters osmoz membran sistemlerine kıyasla ultrafiltrasyon sistemleri için taşıma verilerinin daha fazla olduğu görülmektedir. Araçlarda kullanılan benzinli ve dizel motorların egzoz gazları hava kirliliğine ve oluşan hava kirliliği ile birlikte ozon kirliliğine neden olmaktadır. Ozon kirliliği, canlılar için çok tehlikelidir ve havada belirli limit değerleri aştığında zehirleyici etki göstermektedir (Anonim 2007). Havadaki zararlı maddeler bitkilerin yapraklarında bulunan klorofil miktarında azalmalara sebep olarak çeşitli büyüme parametrelerini olumsuz etkilemektedir. Bu bağlamda hava kirliliğinin olumsuz etkileri sonucunda toplu ağaç ve orman ölümleri oluşmaktadır. (Elkoca 2002). Öte yandan bu olumsuz etkiler toprağın asitlenerek verimsizleşmesine neden olmaktadır. Hava kirliliği sonucunda metallerde paslanma ve renk değişimi, betonların, boyaların ve kalkerlerin bozulması gibi etkiler görülmektedir (Anonim 2011). Bu gibi nedenlerle ultrafiltrasyon sistemleri bahsi geçen kategorilerde en yüksek çevresel yüke sahiptir.

İyonize radyasyon barına bakıldığında en fazla çevresel etki gösteren ünitelerin sırasıyla “Ultrafiltrasyon sistemleri, Ters osmoz membran sistemleri, Biyolojik arıtma ve Kimyasal arıtma” olduğu görülmektedir.

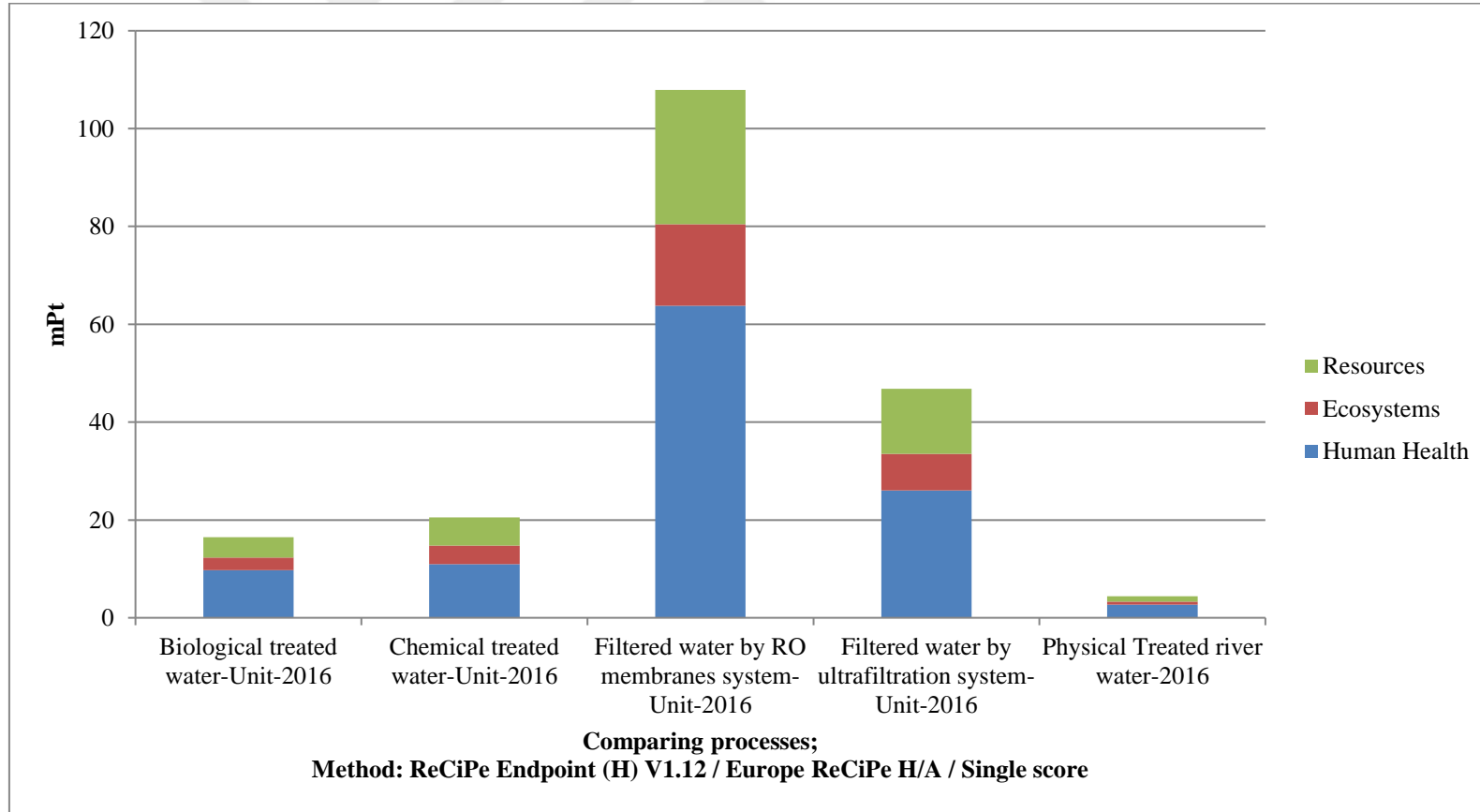


Şekil 4.9. 1 m³ proses suyu üretimi için normalize edilmiş LCA sonuçları (2016 yılı)

Şekil 4.9.'da 2016 yılı LCA sonuçlarının normalize grafiği yer almaktadır. Grafikte tüm son nokta etki kategorilerine en fazla çevresel etki gösteren ünitenin “Ters Osmoz Membran” sistemleri olduğu ve en az çevresel etki gösteren ünitenin “Fiziksel Arıtma” ünitesi olduğu görölmektedir.

İnsan sağlığı, ekosistem kalitesi ve kaynaklar üzerinde en yüksek çevresel etki gösteren ünitenin ters osmoz membran sistemleri olmasının nedeni daha önceki grafiklerde bahsedildiği gibi bu sistemlerin çok fazla enerji sarfiyatı göstermesi olarak yorumlanmaktadır. Elektrik enerjisi üretiminde termik santrallerin kullanılması ve dolaylı olarak çevreye verilen olumsuz etkiler neticesinde insan sağlığı, ekosistem ve kaynaklar da olumsuz etkilenmektedir.





Şekil 4.10. 1 m³ proses suyu üretimi LCA sonuçları - single score gösterimi (2016 yılı)

Şekil 4.10.'da 2016 yılına ait LCA sonuçlarının tek değer (single score) gösterimi yer almaktadır. Grafiğe göre “Ters Osmoz Membran” sistemlerinin en fazla çevresel etki gösteren ünite olduğu görülmektedir. Bu etkide en büyük pay insan sağlığı üzerine olurken sonrasında sırasıyla kaynaklar ve ekosistem kalitesi üzerinedir.

“Ultrafiltrasyon Sistemleri”, ters osmoz membran sistemlerinden sonra en fazla çevresel etki gösteren ünite olarak görülmektedir. Gösterdiği etkinin büyük bir kısmını insan sağlığı üzerine olurken sonrasında kaynaklar ve ekosistem kalitesi üzerine olmaktadır.

“Kimyasal Arıtma” ünitesi, ters osmoz membran sistemleri ve ultrafiltrasyon sistemlerinden sonra en fazla çevresel etki gösteren ünite olarak görülmektedir. Bu ünitenin gösterdiği etki ekosistem kalitesi ve kaynaklar üzerinde yaklaşık olarak aynı kabul edilebilirken insan sağlığı üzerine etkisi en fazladır.

“Biyolojik Arıtma” ünitesi, kimyasal arıtma ünitesi ile benzer etkiler göstermektedir. Kimyasal arıtma ünitesinde olduğu gibi en fazla çevresel etki insan sağlığı üzerine olurken ekosistem kalitesi ve kaynaklar üzerine etkisi yaklaşık olarak aynı görülmektedir.

“Fiziksel Arıtma” ünitesi, çalışmada en az çevresel etki gösteren ünite olarak görülmektedir. Gösterdiği etkinin en büyük kısmı insan sağlığı üzerine olurken kaynaklar ve ekosistem kalitesi üzerine neredeyse aynı değerde etki göstermektedir.

4.3.3. BOSB Su Üretim Tesisleri 2012 ve 2016 Yıllarına Ait Çevresel Yüklerin Karşılaştırılması

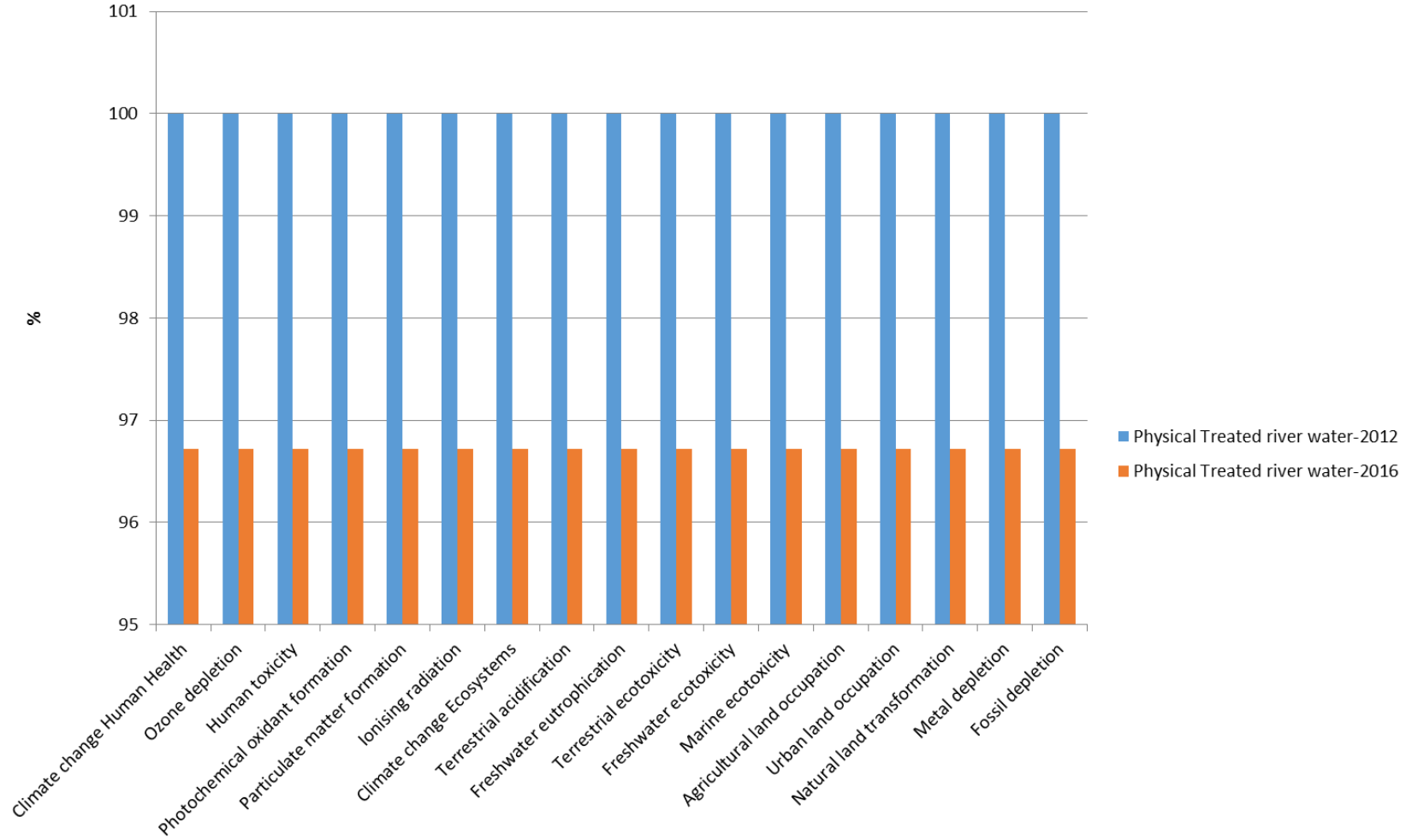
2012 ve 2016 yılı çevresel yüklerine bakıldığında hemen hemen aynı sonuçlar görülmektedir. Fiziksel arıtma, Biyolojik arıtma ve Kimyasal arıtma ünitelerinde 2012 yılı değerlerinin etki kategorileri üzerine etkisinin fazla olduğu görülmektedir. Buna karşın Ultrafiltrasyon sistemleri ve Ters osmoz membran sistemlerinde 2016 yılı değerlerinin etki kategorileri üzerine etkisinin daha fazla olduğu görülmektedir. Tesisin mevcut üniteleri göz önüne alınarak değerlendirme yapılacak olursa;

Fiziksel Arıtma

Fiziksel arıtma ünitesinin 2012 ve 2016 yılı değerlerinin karşılaştırılmasının yapıldığı Şekil 4.11.'de, 2012 yılının çevresel etkilerinin tüm etki kategorileri üzerinde 2016 yılına göre daha belirgin çevresel etkilerinin olduğu görülmektedir. 2012 yılının çevresel etkilerinin fazla olmasının iki türlü sebebi bulunmaktadır;

1. 2012 yılında su üretim tesisine fazla miktarda atıksu alımından dolayı fiziksel arıtma ünitesi ekipmanlarının fazla çalışması gösterilebilir. Tesise kabul edilen fazla miktardaki atıksu terfi pompalarının fazla çalışmasına, havalandırılmalı kum tutucuda fazla miktarda hava verilmesine ve kalan tüm ekipmanların daha fazla çalışmasına sebep olmaktadır.
2. 2012 yılında su üretim tesisine alınan atıksu kalitesinin 2016 yılı su kalitesine göre daha kirli olması gösterilebilir. Kirliliği yüksek olan atıksuyun tesise kabulü ile havalandırılmalı kum tutucularda fazla hava verilmesi gerekmektedir.

Yukarıda bahsi geçen iki madde, elektrik kullanımı ile doğrudan ilişkilidir.



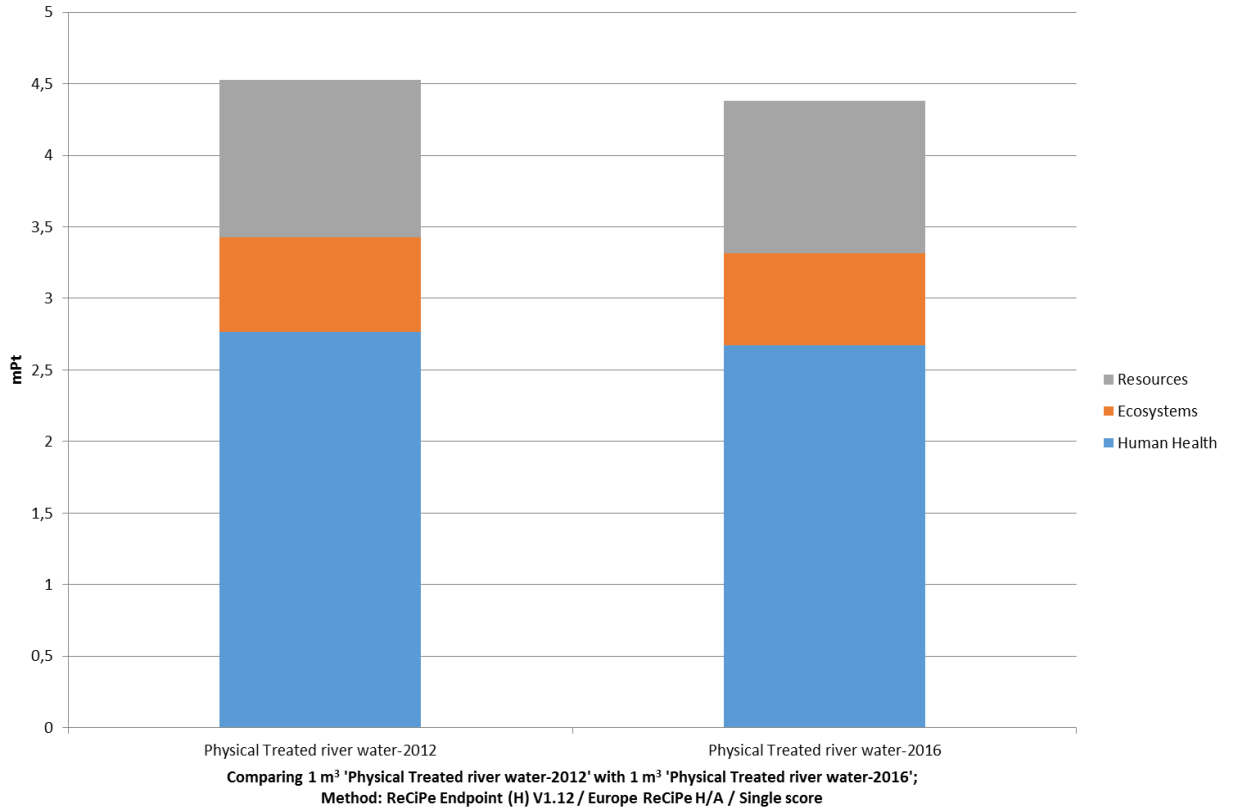
Comparing 1 m³ 'Physical Treated river water-2012' with 1 m³ 'Physical Treated river water-2016';
 Method: ReCiPe Endpoint (H) V1.12 / Europe ReCiPe H/A / Characterization

Şekil 4.11. Fiziksel arıtma ünitelerinin karşılaştırılması-karakterizasyon grafiği (2012-2016)

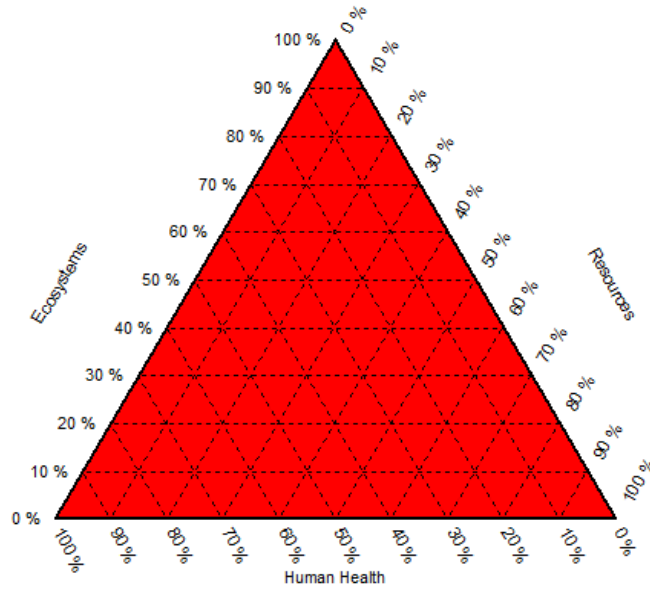
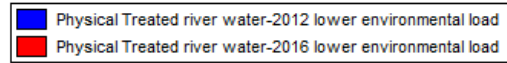
Her iki yıla ait toplam etkilerin (2012 yılı fazla olmakla birlikte) en büyük payı insan sağlığı üzerine olurken kaynaklar ve ekosistem kalitesi üzerine daha az olmaktadır (Şekil 4.12.).

ISO 14042'ye göre; yapılan karşılaştırma işlemlerinde sadece tek değer veren grafikler kullanılamaz. Kullanılan yazılımda, iki farklı ürün karşılaştırılması için “karşılaştırma üçgeni” gibi alternatif yollara başvurulur. Karşılaştırma üçgeni daha düşük çevresel etkiyi göstermektedir. Bu durumda üçgende kapladığı alan büyük olan prosesin daha düşük çevresel etki gösterdiği kabul edilmektedir. Üçgenin tek renk olması, insan sağlığı, kaynak tüketimi ve ekosistem kategorileri üzerinde karşılaştırması yapılan iki seçenekten birinin diğerine göre daha az çevresel etkiye sahip olduğunu ifade etmektedir (Çokaygil, 2005).

Bu durumda Şekil 4.13 ve Şekil 4.14 birlikte değerlendirildiğinde fiziksel arıtma ünitelerinin 2016 yılı verilerinin üç etki kategori üzerinde de daha az çevresel etki gösterdiği görülmektedir.



Şekil 4.12. Fiziksel arıtma ünitelerinin karşılaştırılması-tek değer gösterimi (2012-2016)



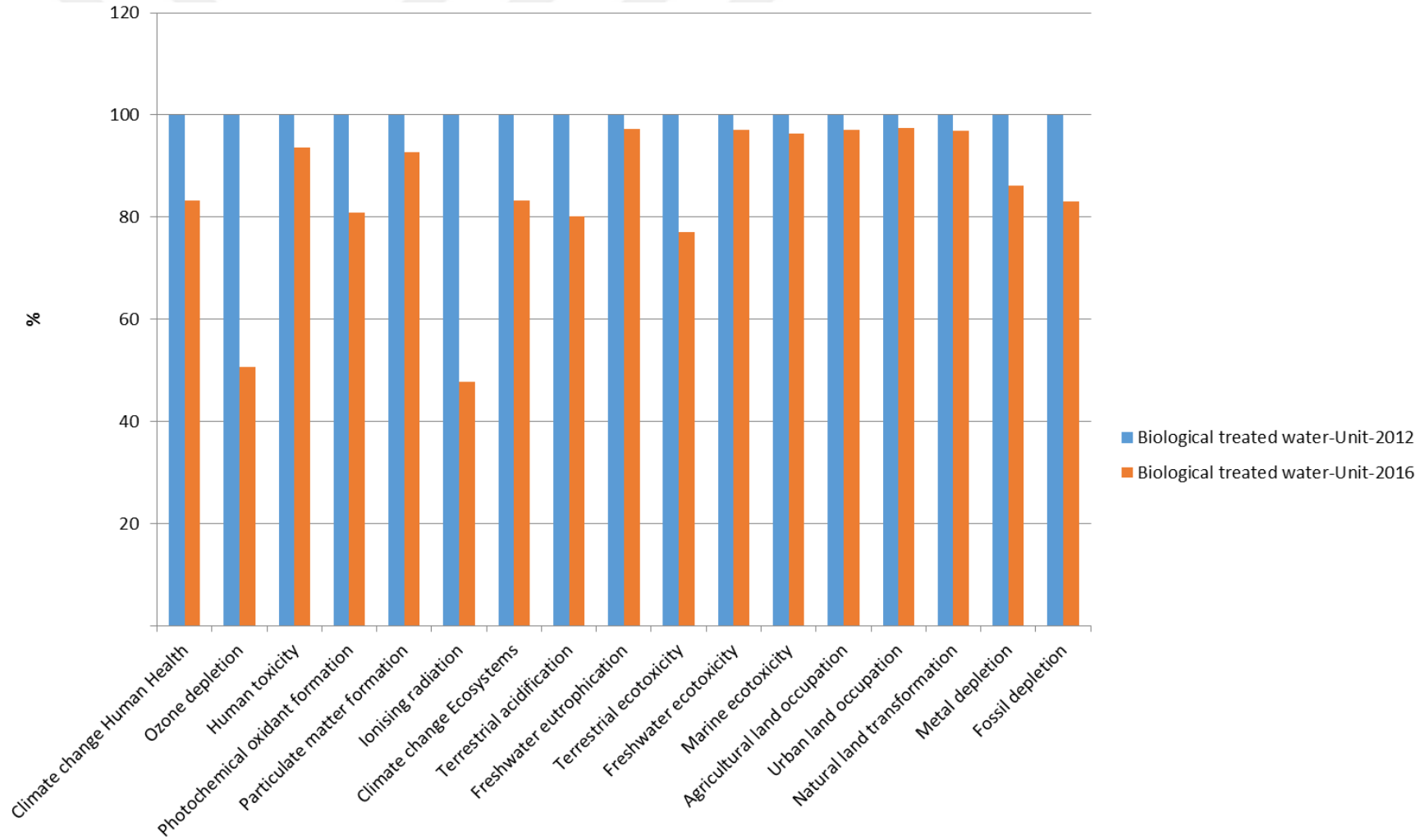
Şekil 4.13. Fiziksel arıtma ünitelerinin karşılaştırma üçgeni (2012-2016)

Biyolojik Arıtma

Tüm etki kategorilerine en fazla çevresel etki gösteren 2012 yılı değerleridir. 2016 yılı değerleri, 2012 yılı değerlerinin etkileri kadar fazla olmamakla birlikte ozon tabakasının incelenmesi ve iyonlaştırılmış radyasyon üzerine 2012 yılı değerlerinin yarısı kadar etki göstermektedir (Şekil 4.14.).

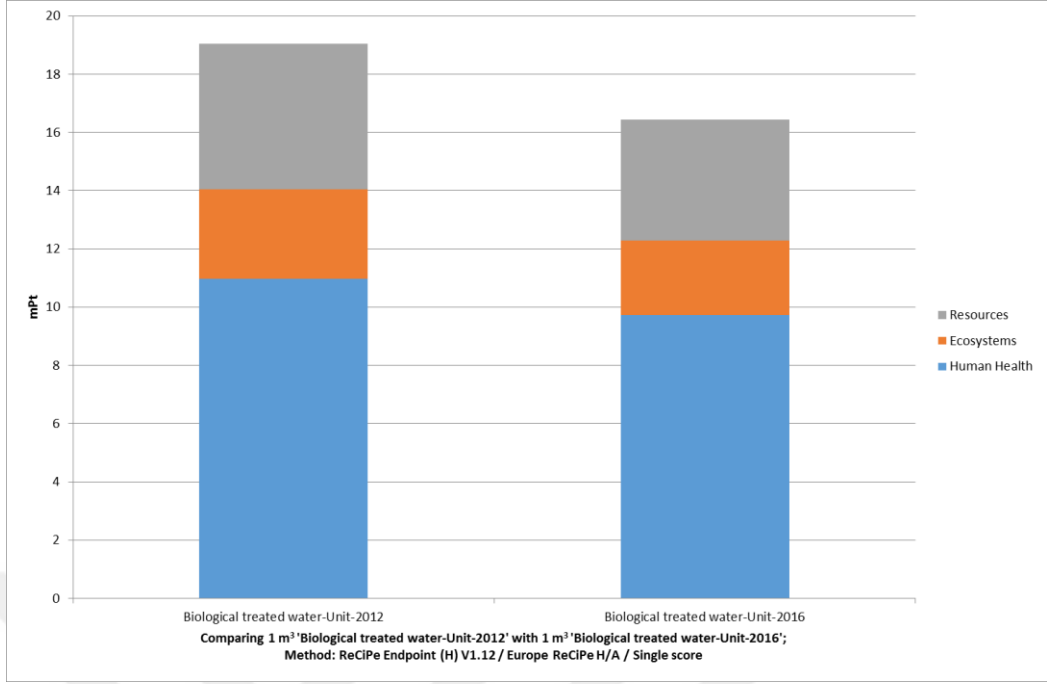
2012 ve 2016 yılı verileri incelendiğinde fiziksel arıtma ünitelerinde olduğu gibi, 2012 yılında elektrik tüketiminin 2016 yılına oranla fazla olması, temel neden olarak görülmektedir. Bunun yanı sıra 2012 yılında kullanılan kimyasal madde miktarı ve taşıma amaçlı doğal kaynak tüketimi de yüksektir. Ozon tabakasının incelenmesi ve iyonize radyasyon etkisinin 2012 yılında daha fazla olması bu temel nedenlere bağlanmaktadır.

Fiziksel arıtma ünitesinde olduğu gibi her iki yıla ait toplam etkilerin (2012 yılı fazla olmakla birlikte) en büyük payı insan sağlığı üzerine olurken kaynaklar ve ekosistem kalitesi üzerine daha az olmaktadır (Şekil 4.15.). Karşılaştırma üçgeninin tek renk olması ve üçgenin kapladığı alanı 2016 yılı verilerinin oluşturması karakterizasyon grafiği yorumunu desteklemektedir (Şekil 4.16.).

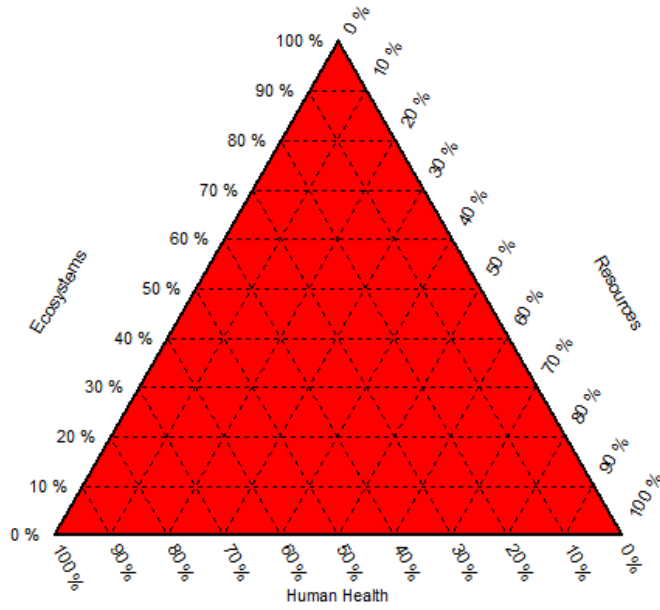
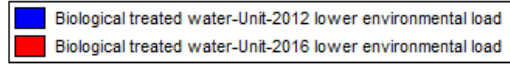


Comparing 1 m³ 'Biological treated water-Unit-2012' with 1 m³ 'Biological treated water-Unit-2016';
Method: ReCiPe Endpoint (H) V1.12 / Europe ReCiPe H/A / Characterization

Şekil 4.14. Biyolojik arıtma ünitelerinin karşılaştırılması-karakterizasyon grafiği (2012-2016)



Şekil 4.15. Biyolojik arıtma ünitelerinin karşılaştırılması-tek değer gösterimi (2012-2016)



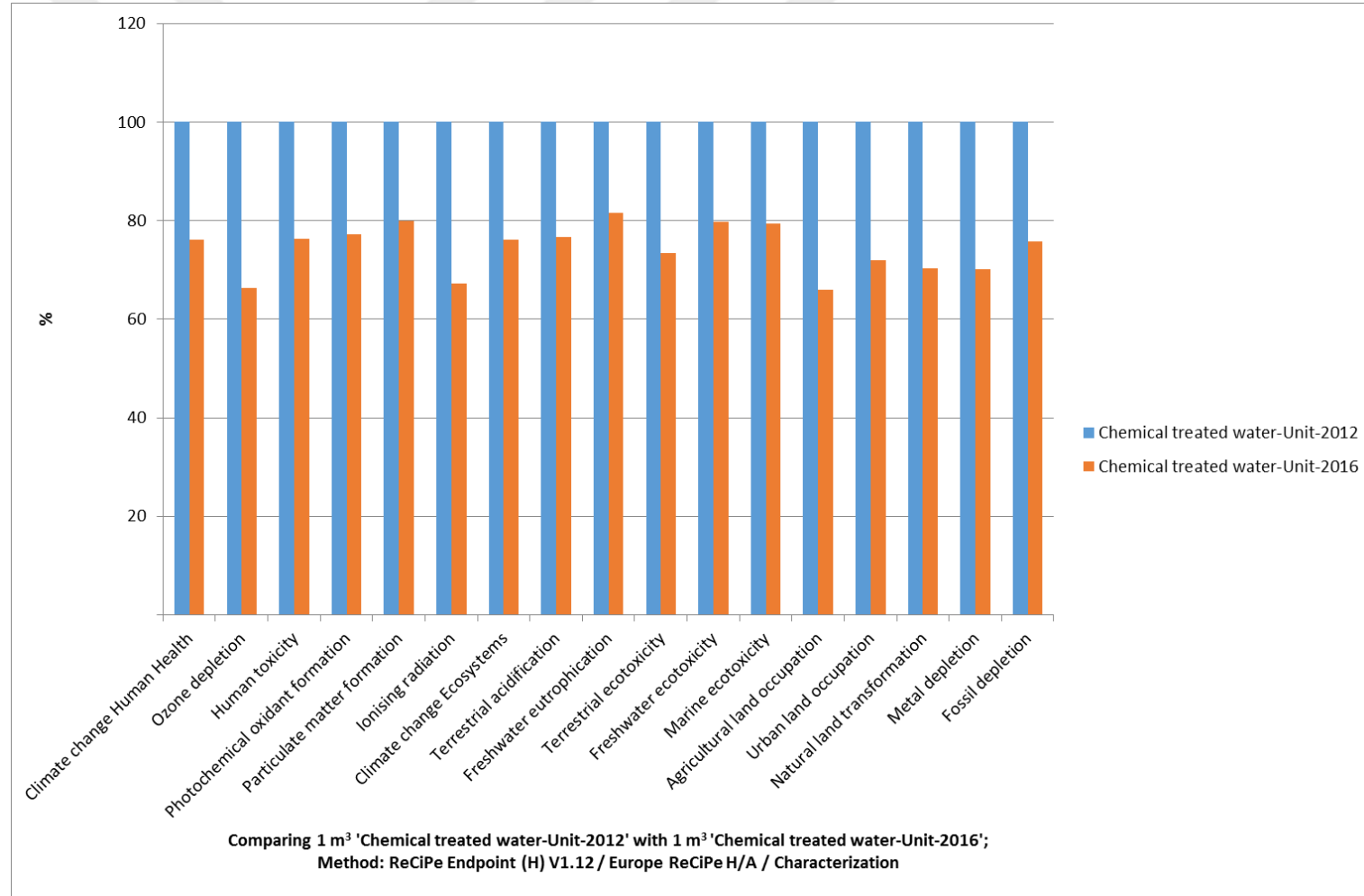
Şekil 4.16. Biyolojik arıtma ünitelerinin karşılaştırma üçgeni(2012-2016)

Kimyasal Arıtma

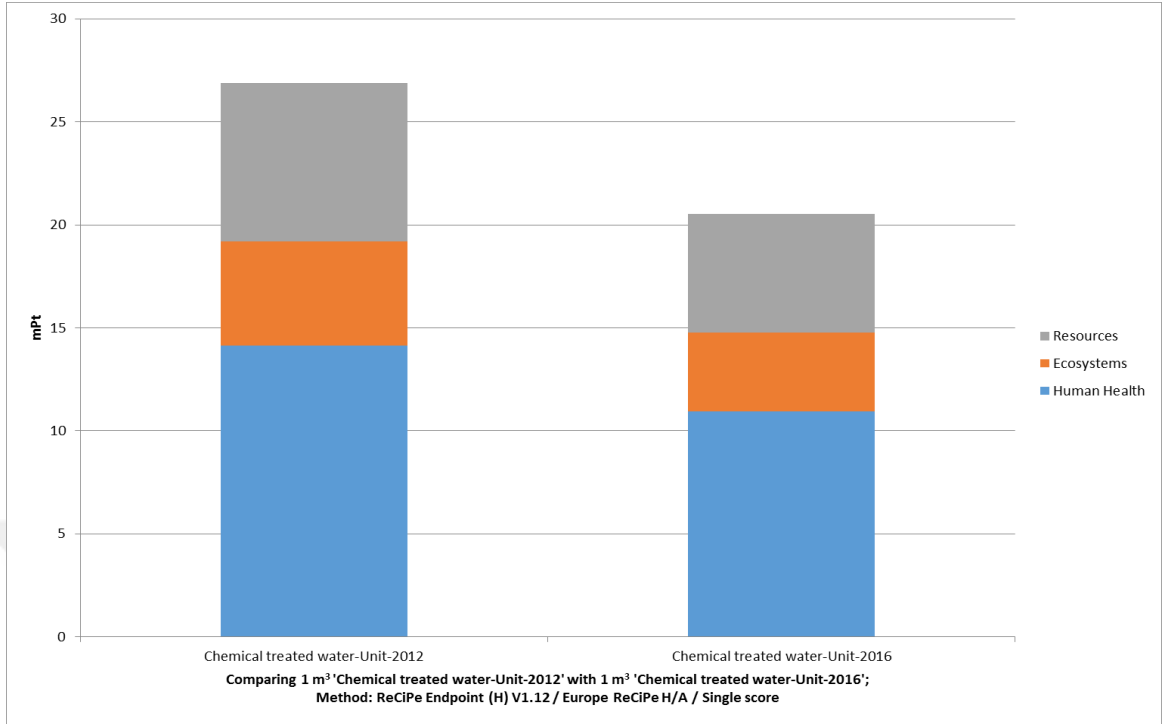
Tüm etki kategorilerinde en fazla çevresel etki gösteren 2012 yılı değerleridir. 2016 yılı değerlerine bakıldığında 2012 yılına göre kimyasal arıtma ünitesinin çevresel etkilerinin azaldığı görülmektedir (Şekil 4.17).

Su üretim tesisine ait kimyasal arıtma ünitesinde görülen farklılığın temel nedeni diğer ünitelerin aksine elektrik tüketimine dayanmamaktadır. Kimyasal arıtmada meydana gelen bu farklılık, kimyasal kullanım miktarı ve taşıma verilerinin 2012 yılında daha fazla olması ile alakalıdır.

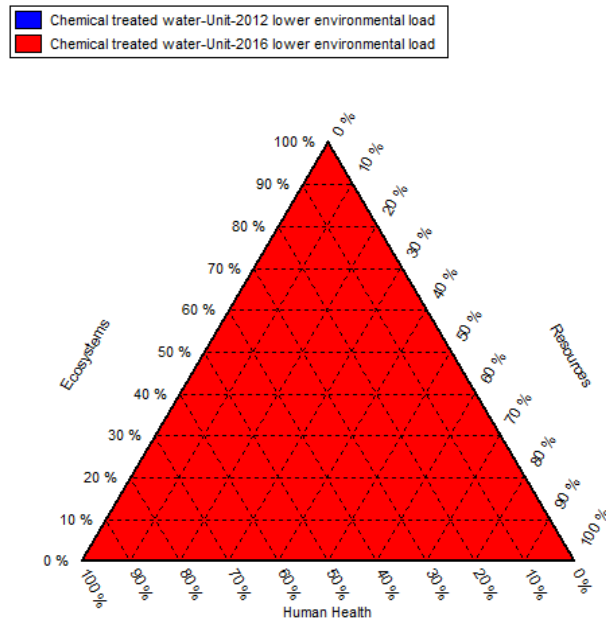
Her iki yıla ait toplam etkilerin en büyük kısmı kaynaklar üzerine olurken, insan sağlığı ve ekosistem kalitesi üzerine etkileri daha azdır (Şekil 4.18.). Kimyasal arıtma ünitelerine ait karşılaştırma üçgeninde görünen durum biyolojik arıtma ve fiziksel arıtma ünitelerinde olduğu gibidir. Üçgende kapladığı alan en büyük olan 2016 yılı verileridir ve 2012 yılına göre daha az çevresel etkiye sahiptir (Şekil 4.19.).



Şekil 4.17. Kimyasal arıtma ünitelerinin karşılaştırılması-karakterizasyon grafiği (2012-2016)



Şekil 4.18. Kimyasal arıtma ünitelerinin karşılaştırılması-tek değer gösterimi (2012-2016)

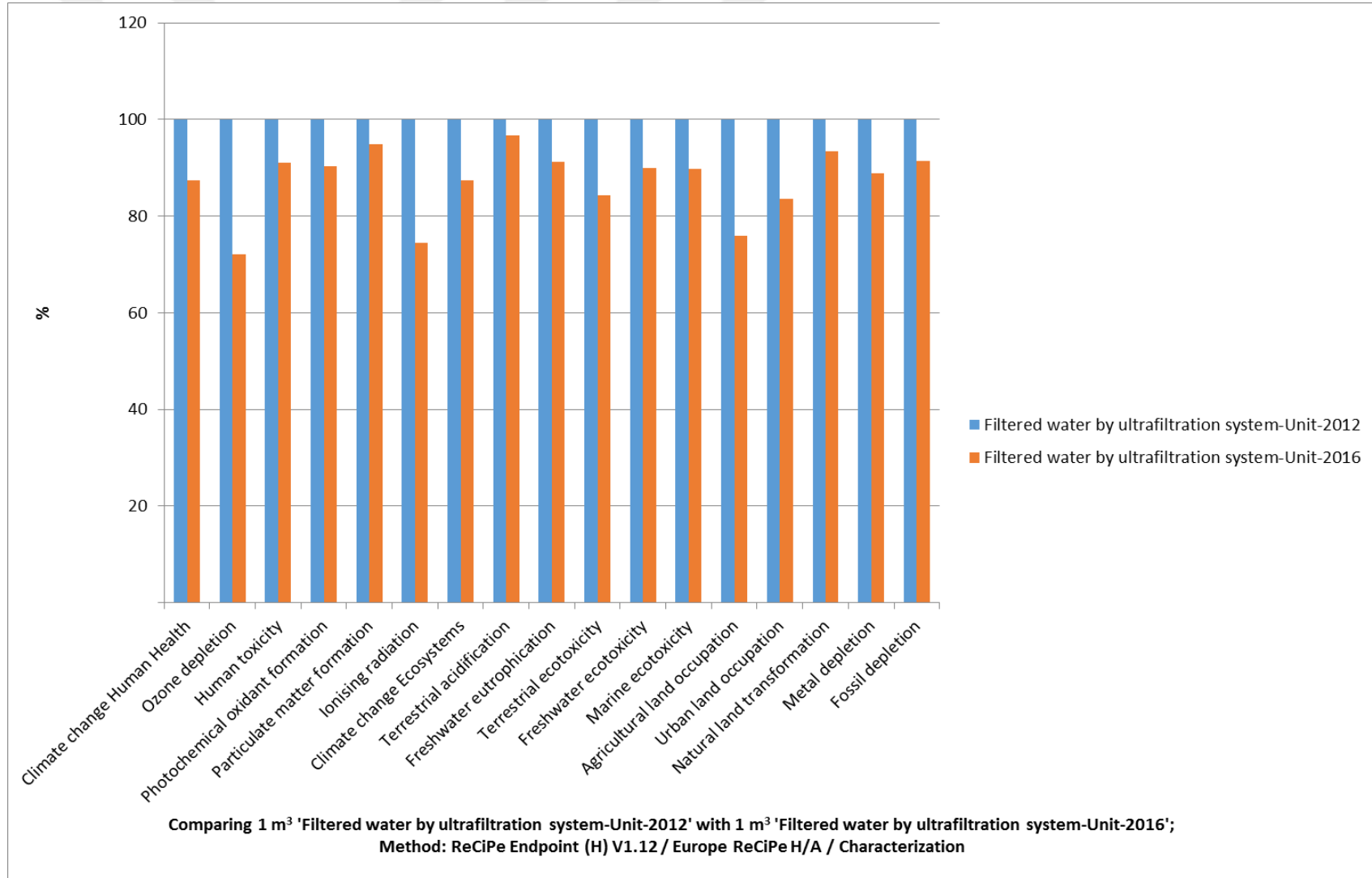


Şekil 4.19. Kimyasal arıtma ünitelerinin karşılaştırma üçgeni(2012-2016)

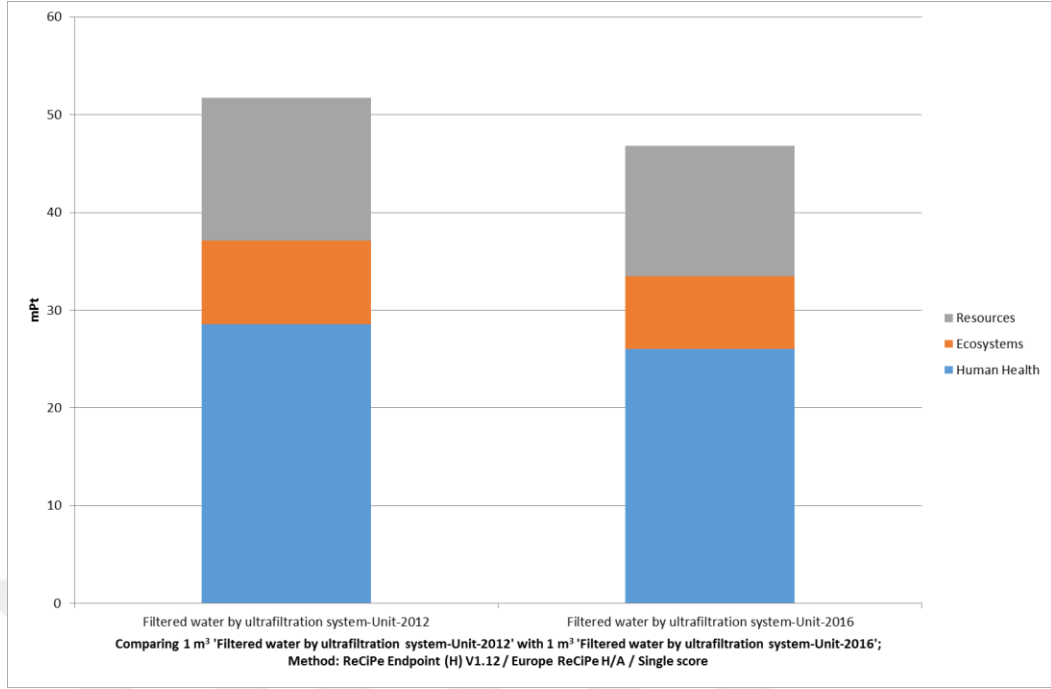
Ultrafiltrasyon Sistemleri

Diğer ünitelerde olduğu gibi 2012 yılı değerleri, 2016 yılı değerlerine göre etki kategorilerine daha fazla çevresel etki göstermektedir. BOSB Su Üretim Tesisi verileri incelendiğinde ultrafiltrasyon sistemleri üzerinde taşımada kullanılan doğal kaynak tüketiminin yüksek seviyede olması çevresel etkinin fazla olmasının temel nedenidir. Taşıma amaçlı kullanılan kaynak tüketiminin fazla olması Şekil 4.20.' de görüldüğü gibi ozon tabakasının incilmesi kategorisi üstündeki etkinin 2012 ve 2016 yıllarında diğer kategorilere göre farklılaşmasına sebep olmuştur.

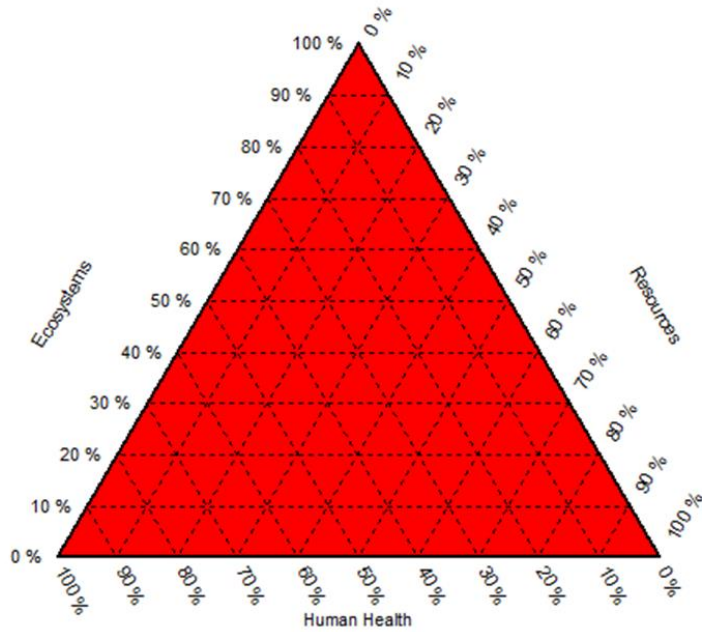
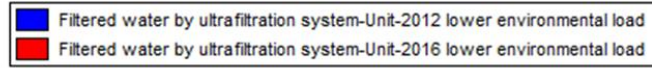
Çevresel etkilerin en büyük kısmını insan sağlığı ve kaynaklar oluştururken, ekosistem kalitesi üzerine daha düşük etki görülmektedir (Şekil 4.21). Ultrafiltrasyon sistemlerine ait karşılaştırma üçgeni incelendiğinde insan sağlığı, kaynaklar ve ekosistem kalitesine üzerine en düşük etkiye sahip olan 2016 yılına ait verilerdir (Şekil 4.22.).



Şekil 4.20. Ultrafiltrasyon sistemlerinin karşılaştırılması-karakterizasyon grafiği (2012-2016)



Şekil 4.21. Ultrafiltrasyon sistemlerinin karşılaştırılması-tek değer gösterimi(2012-2016)



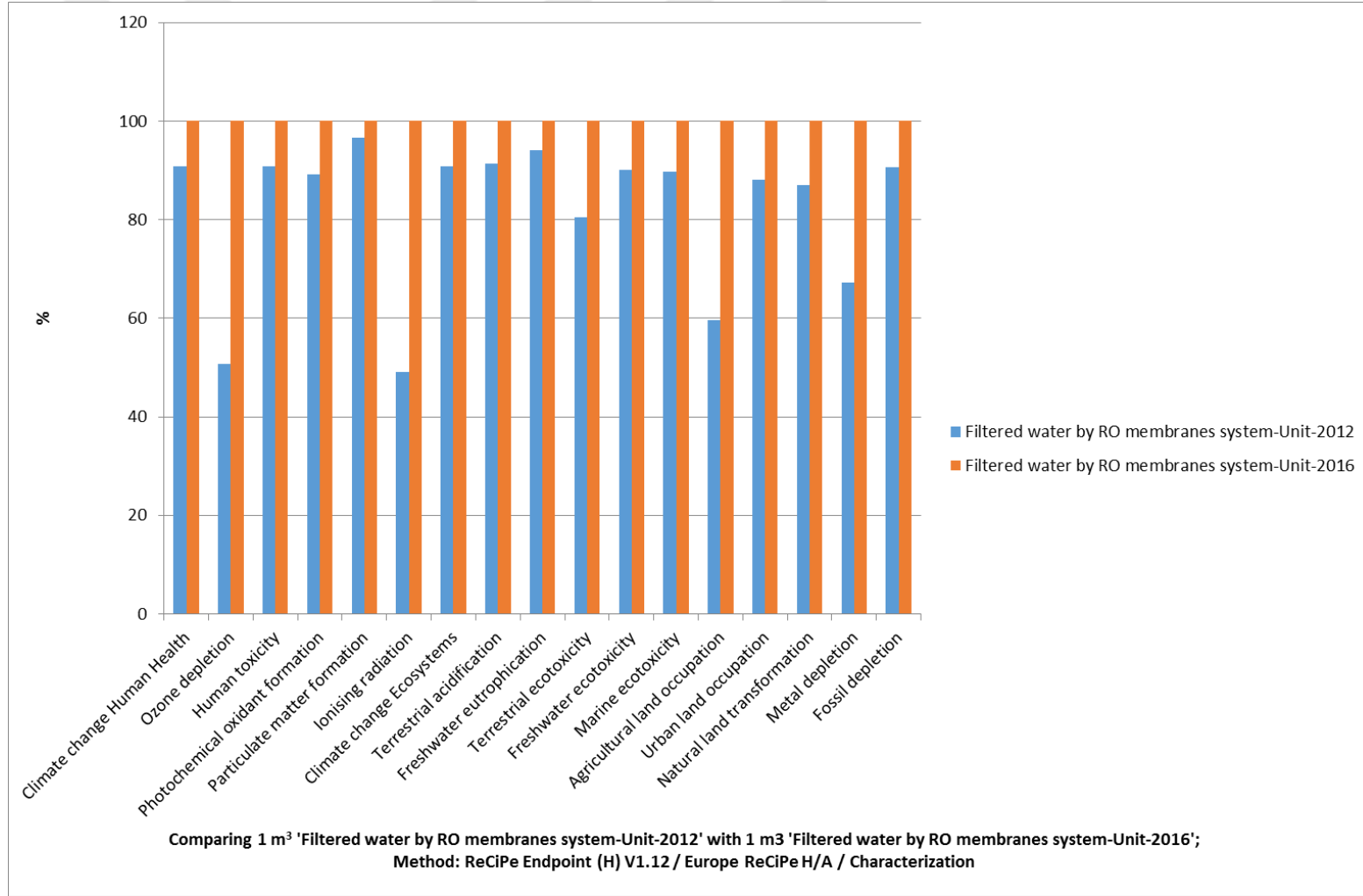
Şekil 4.22. Ultrafiltrasyon sistemlerinin karşılaştırma üçgeni(2012-2016)

Ters Osmoz Membran Sistemleri

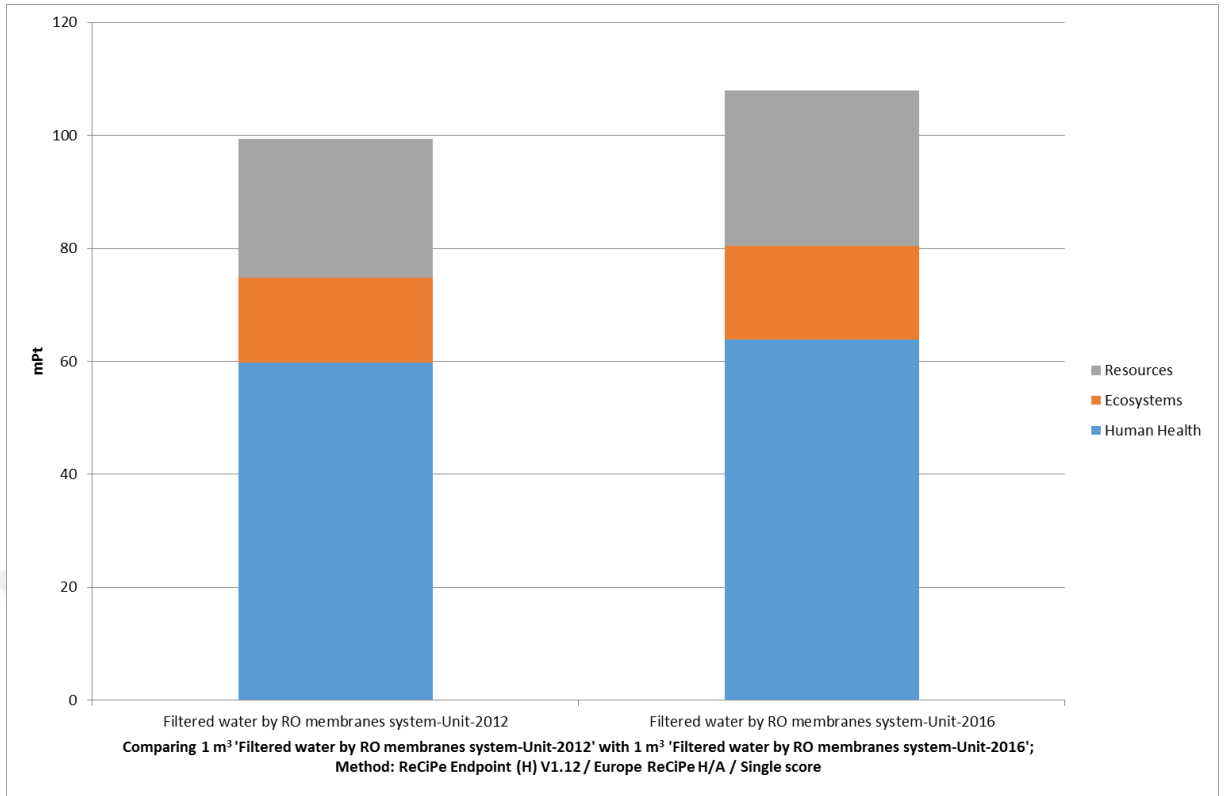
Bu sistemlerde diğer BOSB Su Üretim Tesisi ünitelerinde görünen durumdan farklı bir durum söz konudur. 2012 yılı ve 2016 yılı değerleri incelendiğinde, 2016 yılı değerlerinin tüm etki kategorileri üzerine çevresel etkisinin arttığı görölmektedir(Şekil 4.23.).

Ters osmoz membran sistemlerinde meydana gelen bu farklılık, kullanılan membranların kullanım ömrünün azalmasından kaynaklanmaktadır. Kullanılan ters osmoz membranlarında her geçen yıl kirlilik yükü artmaktadır. Artan kirlilik yükünü arıtmak için ters osmoz membranlarında yapılan geri yıkamalarda kullanılan kimyasal madde miktarı arttırılmaktadır. Arttırılan kimyasal madde miktarına bağlı olarak çevresel etki artmakta ve taşınmasında ihtiyaç duyulan kaynak tüketimi doğru orantılı olarak artmaktadır.2012 ve 2016 yılı verilerinde, diğer sistemlere göre farklılığın temel nedeni bu şekilde açıklanmaktadır.

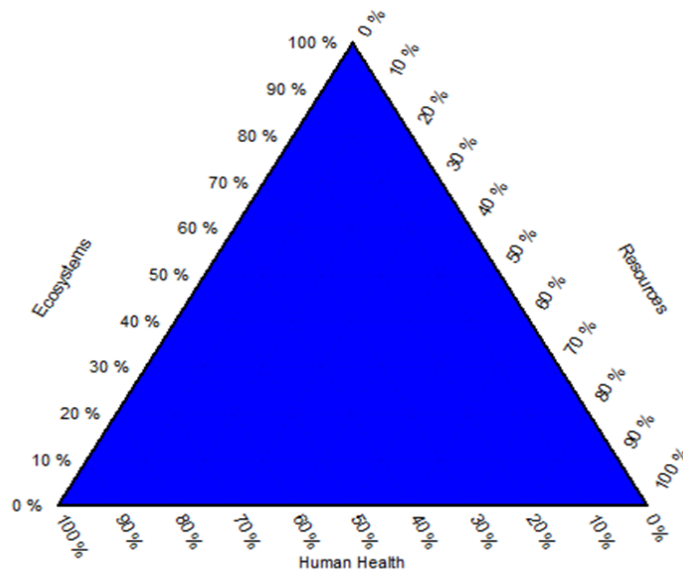
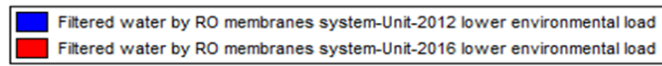
Bu sistemin 2012 ve 2016 yılı etkilerine bakıldığında en fazla insan sağlığı ve kaynakların üzerine etki olduğu ve ekosistem üzerine etkinin diğer kategorilere göre daha az olduğu görölmektedir (Şekil 4.24.). Ters osmoz membran sistemlerinde karşılaştırma üçgeni diğer ünitelerin aksine mavi renkte görönmektedir. Bunun nedeni yukarıda bahsi geçen açıklamalardan dolayı 2016 yılına ait verilerin daha fazla çevresel etkiye sahip olmasıdır. Karşılaştırma üçgenine göre 2012 yılı verilerinin daha az çevresel etkiye sahip olduğu görölmektedir (4.25.).



Şekil 4.23. Ters osmoz membran sistemlerinin karşılaştırılması-karakterizasyon grafiği (2012-2016)



Şekil 4.24. Ters osmoz membran sistemlerinin karşılaştırılması-tek değer gösterimi (2012-2016)



Şekil 4.25. Ters osmoz membran sistemlerinin karşılaştırma üçgeni(2012-2016)

5.SONUÇ

İnsan nüfusunun artması ve sanayinin hızla gelişmesi ile birlikte çevreye verilen olumsuz etkiler ve çevrenin korunması gerektiği düşüncesi giderek artmıştır. Bu olumsuz etkilerin daha iyi bir şekilde anlaşılması ve önlemlerin alınması için metotların geliştirilmesi konusu gündeme gelmiştir. Çevreye verilen olumsuz etkilerin raporlanması ve yönetilmesi için geliştirilen tekniklerden birisi de Yaşam Döngüsü Analizidir (YDA).

Üretim faaliyetleri sonucu oluşan evsel ve endüstriyel atıksular, atıksu arıtımının önem kazanmasını sağlamıştır. Çalışmada yaşam döngüsü değerlendirme yöntemi tanıtılarak, BOSB Su Üretim Tesisi' nin, 1 m³ proses suyu üretimi süreçlerinin beşikten kapıya evreleri incelenmiştir. Nilüfer Çayı' ndan alınan suyun arıtıldığı tesisinin girdi (kullanılan kimyasal madde, elektrik enerjisi v.b.) ve çıktılarının (havaya, suya ve toprağa verilen emisyonlar, oluşan çamur miktarı v.b.) bir envanteri yapılmış olup çevresel etkileri değerlendirilmiştir. Bu inceleme Hollanda patentli SimaPro 8.2.0 yazılımı ve bu yazılımın etki değerlendirme yöntemi olan ReCiPe ile yapılmıştır. Bu yöntemde karakterizasyonu elde etmek için orta nokta ve son nokta seviyeleri yer almaktadır. ReCiPe yöntemi ile fiziksel arıtma, biyolojik arıtma, kimyasal arıtma, ultrafiltrasyon sistemleri ve ters osmoz sistemlerinin çevreye olan etkileri grafiklerle ifade edilmiştir.

Elde edilen sonuçlar şu şekilde sıralanabilir;

- Fiziksel arıtma ünitesinde kimyasal kullanımın olmaması ve bununla birlikte enerji sarfiyatının düşük olması nedeniyle 2012 yılı ve 2016 yıllarında en az çevresel etki gösteren ünite olduğu görülmüştür.
- Biyolojik arıtma ünitesinde atıksuyun içerisindeki organik madde ve diğer kirletici maddeleri gidermek için mikroorganizmaların bulunması doğrudan iyonlaştırılmış radyasyon etki kategorisini etkilemektedir. Bu nedenle 2012 yılı verileri dikkate alındığında iyonlaştırıcı radyasyon kategorisine en fazla çevresel etki gösteren ünitenin biyolojik arıtma olduğu görülmektedir.

- Ultrafiltrasyon sistemlerinde her iki yılda da diğer ünitelerden fazla kimyasal kullanılması nedeniyle en fazla etkinin, ozon tabakasının incilmesi, tarım arazisi işgali ve metal tükenmesi etki kategorilerine olduğu görülmektedir.
- Ters Osmoz Membran Sistemlerinin 2012 yılı ve 2016 yılı verileri değerlendirildiğinde neredeyse tüm etki kategorilerinde en fazla çevresel etki gösteren ünite olduğu görülmektedir. Bunun nedeni bu sistemlerde diğer ünitelere kıyasla enerji sarfiyatının yüksek olmasıdır. Enerji elde etmek için kullanılan termik santrallerin ve hidroelektrik santrallerin çevreye olumsuz etkilerinin fazla olması ters osmoz membran sistemlerinin gösterdiği etkiyi açıklamaktadır.
- 2012 ve 2016 yıllarına ait değerler ünite bazında karşılaştırıldığında; fiziksel arıtma, biyolojik arıtma ve kimyasal arıtma ünitelerinde 2012 yılına kıyasla 2016 yılında çevresel etkilerde azalma olduğu görülmüştür.
- Ultrafiltrasyon sistemlerinde ve ters osmoz membran sistemlerinde 2012 yılına kıyasla 2016 yılında çevresel etkilerde artma olduğu görülmüştür.

Yapılan çalışmada kimyasal kullanımından kaynaklanan çevresel etkileri azaltmak için çevresel etkisi daha az olan kimyasalların kullanımı yaygınlaştırılmalıdır. Taşıma faktörü açısından da değerlendirildiğinde tesise en yakın tedarikçiden kimyasal temini yapılması, fosil yakıt tüketiminden kaynaklı etkilerin azalmasını sağlayacaktır.

BOSB Su Üretim Tesisi, konvansiyonel ve ileri arıtma ünitelerinin 2012 ve 2016 yılı sonuçlarına bakıldığında elektrik enerjisinin her iki yılda da en fazla çevresel etkiye neden olduğu görülmektedir. Aynı zamanda 2012 ve 2016 yıllarında en fazla çevresel zarar, ReCiPe yönteminin son nokta karakterizasyon faktörlerinden insan sağlığı üzerine etkili olmuştur.

Ters osmoz membran sistemleri BOSB Su Üretim Tesisi'nde iyileştirilmesi gereken en önemli prosestir. Yapılan çalışmada elektrik tüketiminin en fazla çevresel etkiye sahip olması nedeniyle ters osmoz membran sistemlerinde elektrik tüketimini azaltıcı çalışmaların yapılması gerekmektedir. Bu kapsamda, membranların kullanım ömürleri tükendiğinde değiştirilmesiyle elektrik tüketimi azaltılabilir. Öte yandan bu membranlarda kullanılan yüksek basınç pompalarının, gelişen teknolojiye uygun olarak

değiştirilmesiyle ters osmoz membran sistemlerinde istenilen basıncın daha düşük enerji harcayan pompalarla karşılanması sağlanabilir. Yapılacak bu tür değişikliklerle ters osmoz membran sistemlerinden kaynaklanan çevresel etkiler daha az seviyeye indirilebilir.

Enerji miktarındaki fazla kullanım, çevre sorunlarının giderek fazlalaşmasına neden olmaktadır. Ortaya çıkan çevre problemleri insan sağlığını tehdit etmekte olup, ekolojik dengenin bozulması gibi kısa ve uzun vadeli etkiler yaratmaktadır. Günümüz faaliyetleri sonucu meydana gelen en önemli çevre sorunu sera etkisi nedeniyle iklim değişikliği beklentisidir. Buna bağlı olarak asit yağmurları ve nükleer tehlikedir.

Çevre kirliliği nedeniyle enerji tüketiminden vazgeçmek çözüm değildir. Ekonomik gelişmenin getirdiği faydalardan vazgeçmemek gerekir. Önemli olan kaynakların olumlu ve olumsuz yanları göz önüne alınarak doğru çözümlerin bulunmasıdır. Enerjinin yarattığı çevre problemlerinin çözümüne önemli oranda katkıda bulunabilecek ve fosil yakıtların tüketimini azaltabilecek, alternatif enerji kaynaklarının geliştirilmesine önem verilmelidir.

KAYNAKLAR

- Alfonsin, C., Hospido, A., Omil, F., Moreira, M., Feijoo, G., 2014.** PPCPs in wastewater- Update and calculation of characterization factors for their inclusion in LCA studies. *Journal of Cleaner Production*, 83(2014):245-255.
- Anonim, 2006.** EPA Life cycle assessment:principles and practice 2006, 600/R-06/060,Ohio.
- Anonim, 2007.** Ozon kalkanı incelerken ozon kirliliği artıyor. http://www.yaklasansaat.com/dunyamiz/kuresel_isinma/ozon.asp , 22.01.2017.
- Anonim, 2011.** Hava kirliliği etkileri. http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Hava%20Kirlili%C4%9Fi%20Ve%20Etkileri.pdf, 22.01.2017.
- Anonim, 2014.** Normalisation:new developments in normalisation sets. <https://www.pre-sustainability.com/the-normalisation-step-in-lcia>, 22.01.2017.
- Anonim, 2015.** Seranit Grup Çevresel Ürün Beyanı, 2015. Yayımlar Tarihi: 07.01.2015, İstanbul.
- Anonim, 2015.** Kütahya Seramik Çevresel Ürün Beyanı, 2015. Yayımlar Tarihi: 07.01.2015, İstanbul.
- Baayen, H., 2000.** Eco-indicator 99 manual for designers. *Ministry of housing spatial planning and the environment*, 21227(204): 9.
- Balpetek, F., Alay, E., Özdoğan, E., 1987.** Sürdürülebilir Kalkınma İçin Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi ve Tekstil Sanayi, Ortak Geleceğimiz Raporu; Dünya İzmir, 39 s.
- Bayrak, F., 2014.** Elektrik üretiminde kullanılan linyitin madencilik aşamasına ait yaşam döngüsü değerlendirmesi, *Y. Lisans Tezi*, Hacettepe Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ankara, 19 s.
- Bhakar, V., Agur , A., Digalwar, A., Sangwan, K., 2015.** Life cycle assessment of CRT, LCD and LED Monitors. *Procedia CIRP*, 29: 432-437.
- Çokaygil, Z., 2005.** Atık yönetimi planlamasında yaşam döngüsü analizi, *Y. Lisans Tezi.*, A. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Eskişehir.
- Demirer, G., 2011.** Pratik yaşam döngüsü analizi kılavuzu AB sürecinde işletmeler ve kamu için yaşam döngüsü analizi yöntem ve örnekleri, Sürdürülebilir Üretim ve Tüketim Yayınları-1,Ankara, 7 s.
- Elkoca, E., 2003.** Hava kirliliği ve bitkiler üzerindeki etkileri. *Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Derg.*, 34(4), 363-374.
- Faria, A., Sperandio, M., Ahmadi, A., Barna, L., 2015.** Evaluation of new alternatives in wastewater treatment plants based on dynamic modelling and life cycle assessment (DM-LCA), *Water Research*, 84:99-111.
- Fazlı, T., 2013.** Comparing environmental impacts of four building envelope configurations using e-Tool LCA. The Middle East Technical University, *The degree of master of science*, Ankara.
- Goedkoop, M., Heijungs, R., Huijbrets, M., Schryver, A., Struijs, J., Zelm, R., 2013.** A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level, Netherlands, iii-iv pp.
- Gürsel, A., Meral , Ç., 2012.** Türkiye’de çimento üretiminin karşılaştırılmalı yaşam döngüsü analizi. 2. Proje ve Yapım Yönetimi Kongresi,13-16 Eylül 2012, İzmir.
- Kadioğlu, S., Tellioglu, Z., 1996.** Enerji kaynaklarının kullanımı ve çevreye etkileri. TMMOB 1. Enerji Sempozyumu, 12-14 Kasım 1996, Ankara.

- Li, J., Zhang, Y., Shao, S., Zhang, S., Ma, S., 2016.** Application of cleaner production in a Chinese magnesia refractory material plant, *Journal of Cleaner Production*, 113: 1015-1023.
- Lu, B., Du, X., Huang, S., 2016.** The economic and environmental implications of wastewater management policy in China: From the LCA perspective, *Journal of Cleaner Production*, 142:3544-3557.
- Meneses, M., Pasqualino, J., Castelles, F., 2010.** Environmental assessment of urban wastewater reuse: Treatment alternatives and applications, *Chemosphere*, 81: 266-272.
- Nucci, B., Puccini, M., Pelagagge, L., Vitolo, S., 2014.** Improving the environmental performance of vegetable oil processing through LCA, *Journal of Cleaner Production*, 64: 310-322.
- Opher, T., Friedler, E., 2016.** Comparative LCA of decentralized wastewater treatment alternatives for non-potable urban reuse, *Journal of Environment Management*, 182:464-476.
- Öztürk, Y., 2012.** Otomotiv endüstrisinde kullanılan tampon ve turbo emiş borusunun yaşam döngüsü değerlendirmesi, *Y. Lisans Tezi*, Aksaray Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Aksaray, 11 s.
- Pintilie, L., Torres, C., Teodosiu, C., Castells, F., 2016.** Urban wastewater reclamation for industrial reuse: An LCA case study, *Journal of Cleaner Production*, 139:1-14.
- Sünbül, A., 2006.** Otomotiv endüstrisinde geri dönüşüm-ürün yaşam döngü değerlendirmesi (LCA), *Y. Lisans Tezi*, Y.T. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Tok, G., 2015.** Refrakter tuğla üretiminin yaşam döngüsü analizi ve yaşam döngüsü maliyeti yöntemleriyle değerlendirilmesi, *Y. Lisans Tezi*, A. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Eskişehir.
- Toja, Y., Alfonsin, C., Amores, M., Aldea, X., Marin, D., Moreira, M., Feijoo, G., 2016.** Beyond the conventional life cycle inventory in wastewater treatment plants, *Science of the Total Environment*, 553:71-82.
- Theregowda, R., Vidic, R., Dzombak, D., Landis, A., 2014.** Life cycle impact analysis of tertiary treatment alternatives to treat secondary municipal wastewater for reuse in cooling systems, *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 34(1):1002
- Tüfekçi, H., 2009.** Hastanelerde kullanılan klima sistemlerinin enerji ve ekserji analizi. Yayınlanmamış *Y. Lisans Tezi*, U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 31 s.
- Valderrama, C., Granados, R., Cortina, J., Gasol, C., Guillem, M., 2012.** Implementation of best available techniques in cement manufacturing: a life-cycle assessment study, *Journal of Cleaner Production*, 25:60-67.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Melike ORDU
Doğum Yeri ve Tarihi : İstanbul / 14.04.1992
Yabancı dili : İngilizce
Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)
Lise : Bayrampaşa Tuna Lisesi
(İstanbul), 2004-2009
Lisans : Uludağ Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü
(Bursa), 2010-2014
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü
(Bursa), 2015-2017
Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl :
Uludağ ÇED - Çevre Danışmanlık Ltd. Şti.
(Mart 2015- Ağustos 2015)
Bileşke Çevre Danışmanlık Ltd. Şti.
(Ekim 2015- Halen)
İletişim (e-posta) : melikeordu@hotmail.com