

**KAYNAK YOĞUN SEKTÖRLER ARASINDA
ENDÜSTRİYEL SİMBİYOZ YAKLAĞIMI İLE AKIŞ
MODELLEMESİ VE OPTİMİZASYONU**

**MODELING AND OPTIMIZATION OF FLOWS BETWEEN
RESOURCE INTENSIVE SECTORS USING INDUSTRIAL
SYMBIOSIS APPROACH**

ZEYNEP GÖKÇE YILGIN

Doç. Dr. MERİH AYDINALP KÖKSAL

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Temiz Tükenmez Enerjiler Ana Bilim Dalı için Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.


2019

ZEYNEP GÖKÇE YILGIN'in hazırladığı “Kaynak Yoğun Sektörler Arasında Endüstriyel Simbiyoz Yaklaşımı İle Akış Modellemesi ve Optimizasyonu” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **TEMİZ TÜKENMEZ ENERJİLER ANABİLİM DALI**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Aynur ERAY
Başkan


.....

Doç. Dr. Merih AYDINALP KÖKSAL
Danışman


.....

Dr. Öğr. Üyesi Banu YÜKSEL ÖZKAYA
Üye


.....

Doç. Dr. Selim L. SANİN
Üye


.....

Dr. Öğr. Üyesi Fatma YERLİKAYA ÖZKURT
Üye


.....

Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak / /..... tarihinde onaylanmıştır.

Prof. Dr. Menemşe GÜMÜŞDERELİOĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK

Hacettepe Üniversitesi 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 üniversitede veya başka üniversitede başka bir tez olarak sunmadığımı

beyan ederim.

17 / 09 / 2019

ZEYNEP GÖKÇE YILGIN



YAYINLANMA FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kâğıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan "**Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge**" kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricince YÖK Ulusal Tez Merkezi / H. Ü. Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- Enstitü / Fakülte yönetim kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.
- Enstitü / Fakülte yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren ay ertelenmiştir.
- Tezim ile ilgili gizlilik kararı verilmiştir.

17.09.19

(İmza)

ZEYNEP GÖKÇE YILGIN

ÖZET

KAYNAK YOĞUN SEKTÖRLER ARASINDA ENDÜSTRİYEL SİMBİYOZ YAKLAŞIMI İLE AKIŞ MODELLEMESİ VE OPTİMİZASYONU

Zeynep Gökçe YILGIN

Yüksek Lisans, Temiz Tükenmez Enerjiler

Tez Danışmanı: Doç. Dr. MERİH AYDINALP KÖKSAL

Haziran, 2019

Temiz (sürdürülebilir) üretim uygulamaları, tüm dünyada yaygınlaşmakla beraber gerek çevresel etkilerin azaltılmasında, gerekse ekonomik kazanımlar konusunda tek başına yeterli olamamaktadır. Bu nedenle, “endüstriyel simbiyoz” kavramı gündeme gelmektedir. Bu kavram, birbirinden bağımsız işletmelerin, doğadaki ekosistem gibi, karşılıklı fayda sağlayacak bir ortaklık içerisinde çalışması olarak tanımlanmaktadır. Bu ortaklık ihtiyaca göre, malzeme, enerji, lojistik gibi birçok kullanımı kapsayabilir.

Dünyada mevcut sanayi bölgelerinde bu kavramın hayata geçirilmiş örneği olan birçok eko-endüstriyel park oluşturulmaktadır. Bu parklarda, malzeme ve enerji akışlarının kapalı bir döngüde çevrimi sağlanarak, başta kaynak verimliliği olmak

üzere, temiz üretim, maliyet etkinliği, bölgesel kalkınma gibi kazanımlar elde edilmekte ve dolayısıyla dünyada en çok odaklanılan konulardan biri olan döngüsel ekonomiye katkıda bulunmaktadır.

Bu izlenim doğrultusunda açık literatürdeki çok sayıda çalışma gözden geçirilmiştir. Bu amaçla oluşturulan sistemlerin modellenmesiyle ilgili çeşitli çalışmalar olduğu görülmüştür. Ancak “kaynak yoğun sektörler” olarak tanımlanan; mineral, kimyasal, çelik, çimento, seramik, demir esaslı olmayan metaller ve inşaat sektörlerini kapsayan, kaynak verimliliğini artırmaya yönelik böyle bir çalışmaya rastlanmamıştır. Farklı sektörlerdeki mevcut çalışmalarda da tesisler arası akışlar tasarlanırken, son ürünün teknik özelliklerinde belirleyici olan bir konunun; “atıklarla hammadde ikame oranları”nın tam olarak analiz edilmediği görülmüştür. Bu nedenle, bu çalışmada dünyanın çevre stratejilerinde yer verdiği öncelikli sektörler olan kaynak yoğun sektörlerde, kaynak verimliliğine ilişkin bir yaklaşım olan endüstriyel simbiyoz metodolojisinin kullanımıyla, örnek bir model olabilecek organize sanayi bölgesi tasarlanması ve böyle bir uygulamanın sağlayacağı kazanımların görülmesi amaçlanmıştır.

Bu motivasyonla, Avrupa atık yönetim stratejilerinde belirtilen kaynak yoğun sektörler araştırılmıştır. Bu çalışmanın gelecekte yapılacak uygulamalara ışık tutması arzu edildiğinden, çalışmanın ilk adımında bu sektörlerin üretim ve atık miktarları ve gelecekteki eğilimleri belirlenmiştir. Ardından, üretim proseslerindeki kütle girdi- çıktıları araştırılmıştır. Bu verilerle toplamda, oluşan atık miktarları verileri dikkate alınarak ilgili tesislerin yer aldığı bir organize sanayi bölgesi tasarlanmış ve atıklarının, çalışmada iki ana ürün olarak belirlenen çimento ve beton üretiminde kullanılmak üzere, farklı ikame oranlarıyla üretim/akış senaryoları oluşturulmuştur. Bu senaryolar, maliyetleri de belirlenerek, matematiksel olarak modellenmiş ve istenilen ürün miktarını en az maliyetle karşılayacak şekilde optimize edilmiştir.

Matematiksel model çözüldüğünde, senaryoların, toplamda yıllık ürün talebini karşılayabilecek üretim miktarları belirlenmiştir. Buna göre çimento tesisi yaptığı yıllık üretimin, %50’sini çelik üretiminden gelen elektrik ark ocağı cürufuyla, %39’unu yine çelik üretiminden gelen pota cürufuyla, %11’ini ise inşaat yapım ve yıkım atıklarından gelen cam ile gerçekleştirebilecektir. Beton üretim tesisi ise yıllık

retiminin %70'ini elik üretiminden gelen elektrik ark ocağı cürufuyla, %24'n dolaylı olarak ikincil alüminyum üretiminden gelen alüminyum oksit ile, %7'sini ise seramik sektöründen gelen kalsine kille gerekletirebilecektir.

Oluşan bu yeni üretim senaryoları ile kaynak tüketiminde, atık kullanımında ve üretim maliyetinde kazanımlar elde edilmiştir. Kaynak tüketiminde, imento tesisi %16; beton tesisi %38 olmak üzere toplamda %54'lk bir azalma meydana gelmiştir. Tasarlanan sistem, oluşan atıkları ikincil hammadde olarak kullanarak Avrupa genelinde bertaraf edilen atık miktarını %35 azaltmıştır. Ayrıca, bu Şekilde bir üretimde imento tesisindeki üretim maliyetinin %4; beton tesisindeki üretim maliyetinin de %5 azaldığı grlmtir.

Anahtar Kelimeler: endüstriyel simbiyoz, kaynak verimliliği, kaynak yoğun sektörler, ktle denklikleri, optimizasyon, döngüsel ekonomi

ABSTRACT

MODELING AND OPTIMIZATION OF FLOWS BETWEEN RESOURCE INTENSIVE SECTORS USING INDUSTRIAL SYMBIOSIS APPROACH

Zeynep Gökçe YILGIN

Master of Science, Department of Renewable Energy

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. MERİH AYDINALP KÖKSAL

June, 2019

Clean production practices have been widely used all over the world. However, additional approaches are needed both for reducing environmental impacts and for economic gains. One of these approaches is the concept of Industrial Symbiosis. This concept is defined as the operation of independent enterprises, such as the ecosystem in nature, in a mutual benefit partnership.

Various eco-industrial parks, which are the performed examples of this concept are created around the world. In these parks, material flows are circulated in a closed loop, achieving gains such as resource efficiency, clean production and thus contribute to the circular economy, which is one of the most focused issues in the world.

In line with this impression, many studies in the open literature have been reviewed. Although there are various studies about the modelling of systems created for this

purpose, any study on increasing resource efficiency in resource intensive sectors, could be reached. In current studies in different sectors, it has been observed that wastes and raw material substitution rates, which are decisive in the technical characteristics of the end product, are not fully analysed while designing interchange flows between the plants. Therefore, it is aimed to design an organized industrial zone in resource intensive sectors by using industrial symbiosis methodology and to see the benefits.

With this motivation, resource intensive sectors have been explored. Since this study is aimed to guide future applications, the production and waste amounts and future trends of these sectors were determined in the first step of the study. Then, the mass inputs and outputs in the production processes were investigated. Based on these data, an organized industrial zone including related facilities has been designed. Following that, production scenarios have been created with different substitution rates of the wastes to be used in cement and concrete production which are determined as two main products in this study. These scenarios have been mathematically modelled after the costs have been determined and optimized to meet the desired product quantity at minimum cost.

The results shows that, the cement plant will be able to produce the annual cement volume in the rate of 50% with electric arc furnace slag from steel production, 39% with ladle furnace slag from steel production, and 11% with glass from construction and demolition waste. Besides, the concrete production plant will be able to produce the annual concrete amount in the rate of 70% with electric arc furnace slag from steel production, 24% with aluminium oxide indirectly from secondary aluminium production, and 7% with calcined clay from the ceramic industry.

These new production scenarios have resulted in gains in resource consumption, waste utilization and production costs. There is 54% reduction in resource consumption, including 16% for cement and 38% for concrete plant. The designed system reduced the amount of waste disposed across Europe by 35% via using the wastes as secondary raw material. Furthermore, according to the designed system, production costs decreased by 4% and 5% in cement and concrete production, respectively.

Keywords industrial symbiosis, resource efficiency, resource intensive sectors, mass balances, optimization, circular economy.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleőtirilmesinde, değerli bilgileriyle katkıda bulunan, bu süreç boyunca bana her daim destek olan saygıdeğer danışman hocam; Doç. Dr. Merih Aydinalp KÖKSAL'a, çalışma süresince tüm zorlukları benimle göğüsleyen ve hayatımın her evresinde bana destek olan değerli eőim Grhan YILGIN'a ve her zaman moral veren, yanımda duran canım aileme sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
ŞEKİL LİSTESİ	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xv
1 GİRİŞ	1
1.1 Genel Bilgiler	1
1.2 Sanayide Kaynak Verimliliği	2
1.3 Endüstriyel Simbiyoz	5
1.4 Problem Tanımı	8
1.5 Çalışmanın Amacı	9
1.6 Çalışmanın Kapsamı	10
1.7 Çalışmanın İçeriği	11
2 LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	12
2.1 Bölüm Sonucu	17
3 KAYNAK YOĞUN ENDÜSTRİLER, ÜRETİM PROSESLERİ VE ATIKLARI	19
3.1 İnşaat sektörü	19
3.1.1 İnşaat Yapım ve Yıkım	20
3.1.2 Atıklar	20
3.2 Seramik Üretimi	25
3.2.1 Atıklar	26
3.3 İkincil Alüminyum Üretimi	28

3.3.1	Üretim Süreci.....	29
3.3.2	Atıklar	30
3.4	Çelik Üretimi	33
3.4.1	Üretim Süreci.....	34
3.4.2	Atıklar	35
3.4.3	Atık Yönetimi	36
3.5	Çimento Üretimi	38
3.5.1	Üretim Süreci.....	38
3.6	Beton Üretimi	41
3.6.1	Üretim Süreci.....	41
3.7	Bölüm Sonucu	43
4	METODOLOJİ ve VERİ KAYNAKLARI	45
4.1	Veri Toplanması ve Analizi	47
4.1.1	Sektörlerin Atık Miktarları Ve Gelecekteki Eğilimleri	49
4.1.2	Atık Kullanma Potansiyeli Olan Sektörler	68
4.2	Sistem Tasarımı.....	78
4.3	Akış Senaryolarının Oluşturulması ve Maliyetlendirilmesi	80
4.4	Matematiksel Modelleme ve Optimizasyon.....	87
4.5	Sonuçların Hesaplanması.....	89
5	SONUÇLAR VE TARTIŞMA	91
5.1	Modelin Çözüm Değerleri	91
5.2	Sonuçlar ve Tartışma.....	96
5.2.1	Kaynak Tüketimleri.....	96
5.2.2	Atık Kullanımları	99
5.2.3	Maliyet	101

6 GENEL SONUÇ VE ÖNERİLER	105
6.1 Genel Sonuç.....	105
6.2 Öneriler	109
KAYNAKLAR	110
EKLER.....	124
EK1 Çalışma kapsamındaki atıkların Avrupa ve Türkiye'deki ortalama yıllık miktarları	124
EK 2 Senaryoların veri matrisi.....	126
EK 3 MATLAB Çözümü	127
ÖZGEÇMİŞ	131

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1 Üretimin her aşamasında kaynak verimliliği.....	2
Şekil 2 Kaynak verimliliği [12]	4
Şekil 3 Tuğla ve kiremit üretim süreci	27
Şekil 4 İkincil alüminyum üretiminde ana adımlardaki girdi ve çıktılar	30
Şekil 5 Tüz cürufunun tam geri kazanım işlemi	32
Şekil 6 EAO ile çelik üretim aşamaları [62].....	35
Şekil 7 Geleneksel Portland çimentosu üretim prosesi.....	41
Şekil 8 Geleneksel beton üretim prosesi	43
Şekil 9 Çalışma metodolojisi.....	46
Şekil 10 Avrupa inşaat sektöründe gelecekteki eğilim [72]	50
Şekil 11 İYY Atık oluşumunda gelecekteki eğilim [44].	52
Şekil 12 Seramik karolar için pazar hacmi [77].....	55
Şekil 13 Gelecekte kalsine kil atığı oluşum eğilimi	57
Şekil 14 İkincil alüminyum üretiminin büyüme eğilimi [79],[80]	60
Şekil 15 Tuz cürufu oluşumu ve Al ₂ O ₃ üretim eğilimi [79],[80].....	62
Şekil 16 Dünya'da ve AB'de çelik üretimi [58].....	64
Şekil 17 EAO ve Pota Cüruflarının Oluşum Eğilimi [58].....	68
Şekil 18 Çalışmada tasarlanan akışlar	79
Şekil 19 Yıllık kaynak tüketimlerinin kıyaslanması (Tesis bazında)	97
Şekil 20 Yıllık kaynak tüketimlerinin kıyaslanması (Avrupa genelinde)	98
Şekil 21 Bertaraf edilen atık miktarında sağlanan kazanç	100
Şekil 22 Çimenton tesis bazında yıllık üretim maliyeti	101
Şekil 23 Betonun yıllık üretim maliyeti	102

Şekil 24 Avrupa genelinde optimal çözüm ile yıllık üretimlerden sağlanacak tasarruflar	103
--	-----

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 1 İncelenen çalışmalar.....	17
Çizelge 2 İnşaat atıkları sınıflandırması [43].....	21
Çizelge 3 İYY atık içerik oranları [44]	22
Çizelge 4 İYY atık değerlendirme yüzdeleri [44].....	24
Çizelge 5 Geleneksel üretimde pota cürufunun yönetimi [65] (Miktarlar referansta verilen oranlardan hesaplanarak elde edilmiştir.)	36
Çizelge 6 Geleneksel üretimde EAO cürufunun yönetimi [65] (Miktarlar referansta verilen oranlardan hesaplanarak elde edilmiştir.)	37
Çizelge 7 İlgili sektörler ve atıkları	48
Çizelge 8 Atık oluşum oranları.....	49
Çizelge 9 Avrupa ülkelerinde ve Türkiye’de oluşan toplam İYY atık miktarı [44] .	51
Çizelge 10 İYY atık içerikleri miktarları [44]	53
Çizelge 11 Ülkelere göre seramik üretim miktarı [76]	54
Çizelge 12 Ülkelere göre kalsine kil atık miktarı	56
Çizelge 13 2010-2013 yılları arasında oluşan kalsine kil miktarları [77]	57
.Çizelge 14 İkincil alüminyum üretim miktarları [78].....	59
Çizelge 15 Tuz cürufu miktarı [78].....	61
Çizelge 16 Ülkelere göre EAO çelik üretim kapasitesi-2014 [58].....	63
Çizelge 17 EAO cürufunun oluşum miktarları ve coğrafik dağılımları (min-100kg/t çelik-ortalama 125kg/t çelik-maks.150kg/t çelik) [58]	66
Çizelge 18 Pota cürufunun oluşum miktarları ve coğrafik dağılımları (min – 10 kg/t LS, ortalama- 30 kg/t çelik, maks – 40 kg/t çelik [58] [59].....	67
Çizelge 19 Geleneksel Portland çimentosu üretim girdileri ve çıktıları [82]	69
Çizelge 20 Geleneksel beton üretimindeki girdi-çıktılar [93].....	73
Çizelge 21 İkincil hammadde muhtemel ikame alternatifleri	77

Çizelge 22 Çalışmada kullanılan maliyet bilgileri	83
Çizelge 23 Bir adet tesis için yıllık kapasite miktarları	84
Çizelge 24 Çalışmada değerlendirilecek olan senaryolar	85
Çizelge 25 Çözüm sonuçları (Çimento üretimi)	93
Çizelge 26 Çözüm sonuçları (Beton üretimi)	93
Çizelge 27 Optimal çözüme göre hesaplanan yıllık atık miktarları	94
Çizelge 28 Sistemdeki tesisler	95
Çizelge 29 Çimento ve betonun Avrupa'daki yıllık üretim miktarları (Çimento-2016, Beton-2017) [139] [140]	97
Çizelge 30. Kaynakların yıllık tüketimindeki kazanç oranları	98
Çizelge 31 Atık bertaraf miktarları	99
Çizelge 32 Bertaraf kazanç yüzdesi	100
Çizelge 33 Çimento ve beton üretiminde maliyet azalma oranı	103

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

X	Yıllık üretim miktarları
A	Senaryoların maliyetleri
C	Senaryolarda kullanılan girdilerin miktarları
K	İkincil hammadde* yıllık kapasite kısıtları
M	Ürünler İçin Yıllık Üretim Kapasite Kısıtları
F	Amaç fonksiyonu
K	Senaryo maliyeti
L	Birim ürün maliyeti
M	Bertaraf maliyeti
N	Önceki ön işlem maliyeti

Kısaltmalar

ES	Endüstriyel Simbiyoz
OSB	Organize Sanayi Bölgesi
EAO	Elektrik Ark Ocağı
İYY	İnşaat Yapım Ve Yıkım

1 GİRİŞ

Bu bölümün birinci kısmında temiz üretim ile ilgili genel bilgiler verilmiştir. Devamındaki bölümlerde ise sırayla; sanayide kaynak verimliliği ve endüstriyel simbiyoz kavramı hakkında bilgilere yer verilmiştir. Son olarak da problem tanımı, çalışmanın amacı, kapsamı ve içeriği sunulmuştur.

1.1 Genel Bilgiler

Temiz üretim, doğal kaynakları, kullanımlarının her aşamasında mümkün olduğunca verimli kullanan ve zararı azaltılmış ya da potansiyel olarak zararlı bileşenleri olmayan ürünler ortaya çıkaran teknolojiler olarak ifade edilmektedir [1].

Bu tip bir teknoloji, üretim ve kullanım sırasında havaya, suya ve toprağa salınımları en aza indirirken, aynı zamanda mümkün olduğu kadar az enerji girdisi ile verimli ve geri kazanılabilen dayanıklı ürünler üretmeyi de hedefler. Bu yönüyle sürdürülebilir temiz üretim, sürdürülebilir üretim olarak da ifade edilebilir.

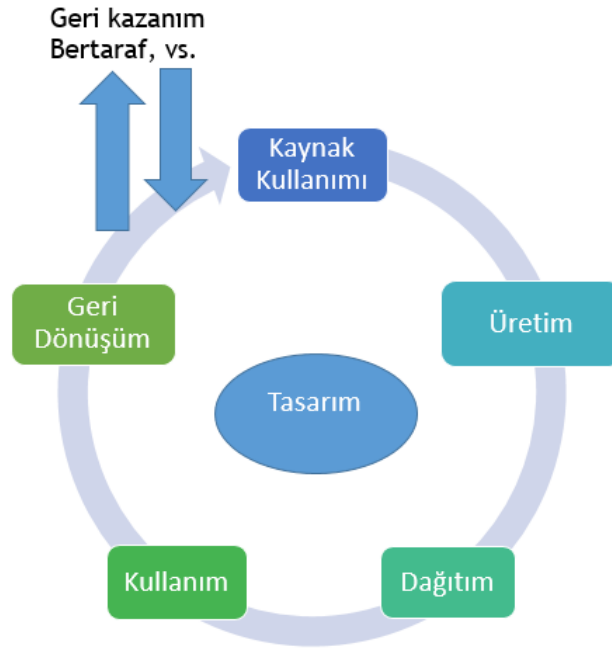
Temiz (sürdürülebilir) üretim uygulamaları, tüm dünyada yaygınlaşmakla beraber gerek çevresel etkilerin azaltılmasında, gerekse ekonomik kazanımlar konusunda tek başına yeterli olamamaktadır. Bu da 90'lı yıllarda ortaya çıkan, birbirinden bağımsız işletmelerin, doğadaki ekosistem gibi, karşılıklı fayda sağlayacak bir ortaklık içerisinde çalışması olarak tanımlanan 'endüstriyel simbiyoz' kavramını gündeme getirmektedir. Bu ortaklık ihtiyaca göre, malzeme, enerji, lojistik gibi birçok kullanımı kapsayabilir.

Dünyada mevcut sanayi bölgelerinde bu kavramın hayata geçirilmiş örneği olan birçok eko-endüstriyel park oluşturulmaktadır. Bu parklarda, malzeme ve enerji akışlarının kapalı bir döngüde çevrimi sağlanarak, başta kaynak verimliliği olmak üzere, temiz üretim, maliyet etkin, bölgesel kalkınma gibi kazanımlar elde edilmekte

ve dolayısıyla dünyada en çok odaklanılan konulardan biri olan dögüsel ekonomiye katkıda bulunmaktadır.

1.2 Sanayide Kaynak Verimliliği

Kaynak verimliliği genel olarak, doğal kaynakların sürdürülebilir olarak işlenmesi, tüketilmesi ve bunun yanında, ürünlerin de hem üretim hem tüketim esnasında çevreye olan olumsuz etkilerinin azaltılması olarak tanımlanabilir. Yani sadece doğal kaynakların korunmasıyla ilgili değil, Şekil 1’de gösterildiği gibi kapalı bir çevrimde tüm endüstriyel üretim süreçlerinin sürdürülebilirliğinin sağlanmasıyla mümkündür.



Şekil 1 Üretimin her aşamasında kaynak verimliliği

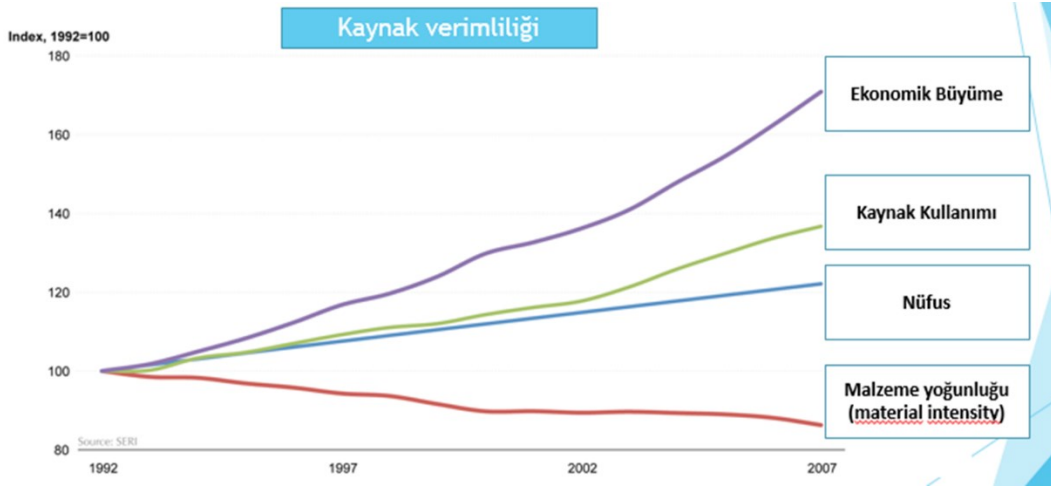
Ülkemizde de son yıllarda artan hammadde ve enerji maliyetlerinin sanayi ürünlerinin fiyatlarının etkilenmesiyle kaynak verimliliği konusu yeniden gündeme gelmektedir. Kaynak verimliliğinin sağlanması için kullanılacak ileri teknolojiler ve proses iyileştirmeleri tek başına yeterli olmamaktadır. Bunların yanında, temiz ve yenilenebilir enerji kullanımı, girdi ve atıkların azaltılması, atıkların yeniden kullanılması veya geri dönüşümünün sağlanması gibi uygulamalar gerekmektedir.

Bütün bu bulgular sürdürülebilir iyileştirmelere ve rekabetçiliğe açık ve ivedi bir ilgi olduğunu göstermektedir. Bu da *Yeşil Ekonomi* olarak da tabir edilen sürdürülebilir ekonomiye bir geçiştir. Bunun kanıtı, Avrupa Komisyonu tarafından Avrupa 2020 stratejisinde tanımlanan; hammadde, atık, çevresel etki ve yeniliklerle ilgili stratejik hedeflerdir [2]. Bunlar sürdürülebilir büyümeyi sağlamak için kaynak verimli, düşük karbonlu ekonomi yeni açılımlardır: “Kaynak Verimli Avrupa”, “Kaynak Verimli Avrupa Yol Haritası”, “Küreselleşme Dönemi Sanayi Politikası”, “İnovasyon Birliği” vb.

Tüm dünyada kaynak tüketimi, büyüyen ekonomiyle birlikte her yıl artan bir eğilim göstermektedir Dünya nüfusunun 2050 yılında dokuz milyarı aşacağı tahmin edilmektedir [3]. Bunun sonuçlarından biri olarak, doğal kaynakların erişilebilirliği, çevresel, endüstriyel ve sosyal açılardan zorlayıcı bir konuya dönüşmektedir. Özellikle kaynak yoğun sektörler için doğal kaynak kullanımı büyük önem arz etmektedir. Bu sektörler, mineral, kimyasal, çelik, çimento, seramik, demir esaslı olmayan metaller ve inşaat sektörleridir ve bunların, su, enerji ve hammadde doğal kaynaklarına bağımlılığı çok yüksektir. Avrupa’daki kaynak yoğun endüstriler günümüzde bu kaynakların %20-30’unu ithal etmektedir [4]. Avrupa genelinde kaynak yoğun sektörlerin 6,8 milyon çalışanı ve 1600 milyar Euro’dan fazla cirosu vardır [5].

Diğer bir yandan, endüstrilerin enerji tüketimi konusuna bakılacak olursa; Eurostat’ın 2017 verilerine göre Avrupa’daki enerji tüketiminin %25’i endüstriyel tüketimdir [6]. Ülkemizde ise bu değer %37’dir [7]. Türkiye Sanayi Kalkınma Bankası’nın Türkiye için belirlediği kaynak verimliliğini sağlama önceliği olan sektörler de, yine en çok enerji tüketen sektörler olarak belirtilen; çimento, demir çelik, cam ve kimya sektörleri olarak açıklanmıştır [8].

Yüksek girdi tüketim değerlerinin çevreye olumsuz etkileri karşısında birçok ülkede hedeflenen çeşitli programlar, odalar, bakanlıklar tarafından farklı alternatif uygulama önerileriyle sunulmaktadır. Birleşmiş Milletler Çevre Programı (United Nations Environment Programme-UNEP)'nin yayınladığı bir raporda, çevreyi korumak için ekonomik büyüme ile kaynak kullanımı arasındaki bağı ayrıştırılmasından bahsedilmektedir (Şekil 2). Bir birimlik ekonomik aktivite için tüketilen birincil kaynakların azaltılarak kaynak kullanımının ekonomik büyümeden bağımsızlaştırmasının küresel sürdürülebilir için çok önemli olduğu vurgulanmaktadır [3],[9],[10]. Bu daha az girdiyle (enerji, alan, ham madde, vs.) aynı çıktının elde edilebileceğini ifade etmektedir. Böylece bu bağımsızlaştırma (ayrıklaştırma), kaynak verimliliğinin artırılmasını sağlayacağı gibi çevresel etki eğiliminin de azalmasını sağlayacaktır. Ekonomik faaliyetin malzeme kullanımından ayrışmasının yönetilebilmesi için de malzeme akışlarının hesaplanması gerekmektedir. Bu hesapları küresel, bölgesel ve ulusal düzeyde derlemek, farklı ölçeklerde daha iyi planlama ve karar vermeyi sağlar [11].



Şekil 2 Kaynak verimliliği [12]

Avrupa Birliği'nde her yıl 98 milyon tonu tehlikeli olmak üzere 2,7 milyar ton atık oluşmaktadır [13]. Avrupa Parlemtosu Araştırma Servisi (European Parliamentary Research Service-EPRS) 2017 raporuna göre, Avrupa'daki toplam

atık oluşumunun % 73'ü mineral/inorganik atıktır [14]. Bu atıklar, çelik cürufu, alüminyum tuz cürufları, cam ve seramik endüstrisi atıkları gibi endüstriyel atıkların yanı sıra madencilik, taş ocakçılığı, inşaat ve yıkım faaliyetleri sonucu ortaya çıkan atıklardır. Ancak, AB-28'de atık geri dönüşüm oranları yaklaşık % 36'dır [14]. Yukarıda bahsedilen sürdürülebilir büyüme stratejilerinde atıkların önlenmesine ilişkin yasal uygulamalar da yer almaktadır. Atıkların önlenmesi ve geri dönüştürülmesine ilişkin Tematik Strateji, 2014 yılında tamamlanan "6. Çevresel Eylem Programı"dır. Bir diğeri, "Döngüsel Ekonomiye doğru: Avrupa İçin Sıfır Atık Programı" gibi farklı örnekler de görülebilir. Avrupa Atık Çerçeve Direktifi (2008/98 / EC), atık hiyerarşisi önceliğine göre atıkların en aza indirilmesi, kaynakların ayrılması, toplanması ve geri dönüştürülmesini sağlamayı amaçlamaktadır [15]. Ancak hâlâ daha etkin bir atık yönetimi için sektörler arası ortak aktiviteler geliştirilmesinde, endüstriyel simbiyoz dâhil, iş modellerinde ve ekonomik modellerde, politik uygulamalarda, eğitim ve iletişim stratejilerinde uygulamadaki çözümlerde bir takım eksiklikler vardır

1.3 Endüstriyel Simbiyoz

Endüstriyel süreçlerde ilk olarak 'Temiz Üretim' le gelen bütünsel stratejiler, bir sonraki adımda işletme sınırları dışına çıkarak 'Yaşam Döngüsü Analizi' yle geliştirilmiştir. Son olarak da tüm endüstriyel sistemin bir ekosistem olarak ele alındığı 'Endüstriyel Ekoloji' kavramı doğmuştur.

Endüstriyel Simbiyoz (ES), endüstriyel alanların ekolojik ayak izlerini azaltan; ürün, yan ürün ve atık takasları ağını ifade eder. Bu kavramın temeli literatürde ilk kez 1989'da Frosch ve Gallopoulos tarafından endüstriyel ekoloji olarak ve Ayres tarafından da endüstriyel metabolizma olarak kullanılmasıyla ortaya çıkmıştır [16][17][18]. Ayres çalışmasında, enerji ve hammaddeleri bitmiş ürünlere dönüştüren tüm üretim süreçleri sistemini ve atık kavramını açıklamıştır [17]. Daha sonra, Christensen, 1989'da Kalundborg eko-endüstriyel parkında "endüstriyel simbiyoz" terimini kullanmıştır [16],[19]. Bu kavramın altında yatan temel nokta;

maddelerin ve enerjinin, doğal ekosistemin verimli döngüsüne benzer şekilde çevrim yapabileceği görüşüdür. Bu yaklaşıma göre, belirli işbirlikleri, hem hammadde tüketimini hem de atık bertarafını azaltabilir. Böylece bütünsel bir yaklaşımla, endüstriyel sistemin malzeme akış döngüsü kapanır, atıklar en aza indirilir ve hem hammadde hem de atık bertaraf maliyetleri azaltılmış olarak döngüsel ekonomiye katkıda bulunulur. Tüm bu olumlu etkiler, daha önce bahsedilen sürdürülebilir büyümenin önünü açar.

Malzeme akış döngüsünün kapatılması, döngüsel ekonomi kavramının getirdiği üretim sistemleri ile alakalıdır. Geleneksel olarak doğrusal yaklaşımla oluşturulan malzeme ve enerji akışı, hammadde kaynakları ve atık bertaraf kapasitesi sonsuzmuş gibi kabul edilerek sağlanan sistemler 'açık çevrim sistemler' olarak adlandırılır. Yarı-açık ya da yarı döngüsel sistemler ise kaynakların sınırlı olduğu atıkların da kısmen tekrar kullanılabilirdiği üretim tipidir. Günümüzde en çok kullanılan sistemdir. Kapalı çevrim sistem ya da tam döngüsel sistem ise sınırlı kaynak kullanımıyla ve atık bertarafı oluşturmayacak bir akış sağlar [14] [20]. Yani tüm hammadde ve proses atıkları belirlenen çevrimde kalır, döngüsel bir akışta yer alır. Endüstriyel simbiyoz kavramı tam da bu ayrımında, doğadaki döngüyü örnek alarak, doğrusal üretim yaklaşımını döngüsel yaklaşıma taşıyacak bir geçiş sunar.

Endüstriyel Simbiyoz, literatürde endüstriyel ekolojinin bir alt kavramı olarak ifade edilmektedir. Yani endüstriyel ekoloji daha geniş kapsamlı bir ifade olarak kullanılmaktadır. Eko-parklar ise bu endüstriyel simbiyoz kavramının hayata geçirildiği işletmelerin oluşturduğu organize sanayi bölgeleridir.

Günümüzde, Japonya, Çin, Kanada ve Amerika gibi bazı ülkeler sanayi bölgelerini endüstriyel simbiyoz yaklaşımıyla yeniden düzenlemektedirler. Tesisler arasında birçok farklı simbiyotik ağlar kurulabilmektedir. Bu ülkelerin yanı sıra, Avrupa da bu

konuda bölgesel (örn. Cleantech Ostergotland, İsveç), ulusal (örn. NISP, İngiltere) ve yerel bazda (örn. Kalundborg, DK) girişimler bulunmaktadır.

Danimarka'daki Kalundborg eko-parkı, bu türde yapılan ilk ve en kapsamlı çalışmadır. İlk olarak 1959 yılında bir enerji santrali ve rafineri olarak kurulmuştur [21]. Daha sonra çeşitli tesislerin dâhil edilmesiyle tesisler arası madde akışları hızla artmıştır. Bu tesisler arasında sağlanan endüstriyel simbiyoz ile hammadde tüketiminin emisyonları, çevresel etkileri azaltmış; enerjinin verimli kullanım sağlanmıştır [22]. Kalundborg, 1960'lı yıllardan beri sürekli izlenen ve analiz edilen bir eko-parktır.

Bir başka önemli çalışma ise, 2003 yılında İngiltere'de bir program olarak başlatılan Ulusal Endüstriyel Simbiyoz Programı (National Industrial Symbiosis Program)'dır [20]. Uluslararası Sinerjiler Şirketi (International Synergies Company)'nin danışmanlığı ile kurulan bir platformda farklı tesisler arasında bağlantılar kurularak atık malzemelerin geri dönüşümü veya yeniden kullanımı hedeflenmiş ve uygulanmıştır. Bu uygulamalarla büyük miktarlarda karbondioksit emisyonu, yeraltı su kaynaklarının kullanımı ve ayrıca atık bertarafı azaltılmıştır. Bu platformda İngiltere'de 12 farklı bölgede çeşitli ağlar kurulmuş ve Brezilya, Macaristan ve Çin gibi ülkelere danışmanlık verilmiştir[20][23].

Kanada, 1990'larda eko-park çalışmalarının başlatıldığı ve büyük yararlar sağlanan ülkelerden biridir. En bilinenleri, yaklaşık 800 hektarı kapsayan ve 17.000'den fazla çalışanı olan Burnside eko-parkıdır [24][25]. Dalhousie Üniversitesi'nin desteğiyle oluşturulan hem maddi hem de enerji çevrimi sağlayabilen 1500 tesise sahip büyük ölçekli bir parktır [25]. Simbiyozun eko-park içinde oluşturulduğu ancak mevcut tesislerle büyük coğrafi ölçekte de olası akışlarla işbirliği yapmanın mümkün olduğu bilinmektedir.

Türkiye'de de İskenderun Körfezi'nde bir endüstriyel simbiyoz projesi uygulanmıştır. 2011 yılında NISP platformu, Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı (UNDP) ile bir üniversite ve bir yönetici vakıf ile birlikte çalışılmıştır [26][27]. Projede çimento, kireç, plastik, tekstil gibi farklı sektörlerde faaliyet gösteren 32 firma yer almıştır. Yapılan uygulamalarla yıllık 3.500 ton karbondioksit salınımı azaltılmış, 12.000 ton atık tekrar kullanılmış ve yeniden satış için 1400 ton hayvan yemi üretilmiştir [26].

1.4 Problem Tanımı

Yukarda örnekleri de verilen eko-parkların başarı kriteri, temelde tesisler arasındaki akışların (hammadde, enerji, atık, yarı mamul ürünler, vb.) artırılarak ve çevresel zararların, atıf bertaraf, nakliye ve diğer maliyetlerin de azaltılarak fayda temelli kaynakların ekonomik kazanımıdır. Bunun yanında, oluşturulan sistemin ekonomiye katkı sağlaması ve bulunduğu bölgeyi geliştirmesi de oldukça önemlidir.

Bu izlenim doğrultusunda açık literatürdeki çok sayıda çalışma gözden geçirilmiştir. Bu amaçla oluşturulan sistemlerin modellenmesiyle ilgili çeşitli çalışmalar olduğu görülmüştür. Ancak inceleme sonucunda, **ilk olarak**; çeşitli çevre strateji raporlarında önceliklendirilen **kaynak yoğun sektörlerde endüstriyel simbiyoz yaklaşımıyla yapılan herhangi bir verimlilik çalışmasına rastlanmamıştır**. Gitgide azalan doğal kaynaklar göz önünde bulundurulduğunda, üretimi dünya genelinde sürekli artış gösteren kaynak yoğun sektörlerle ilgili kaynak kullanımının azaltılmasına yönelik bir çalışma yapılması büyük önem arz etmektedir. **ikinci olarak**; incelenen endüstriyel simbiyoz çalışmalarında, simbiyotik ilişkiler belirlenirken, **hammadde ikame oranının tam olarak analiz edilmediği** görülmüştür. Oysa ki, ikincil hammadde olarak kullanılan **atıklar, kullanım miktarına bağlı olarak, girdi karışımındaki diğer malzemelerle etkileşebilmekte, son ürünün özelliklerine (dayanım, sertlik vb.) direkt olarak etki etmekte ve çıktı bileşimlerinde de emisyon içerikleri konusunda önemli rol oynamaktadır**.

Bu nedenlerden dolayı, çalışmanın motivasyonu; dünyanın çevre stratejilerinde yer verdiği öncelikli sektörler olan kaynak yoğun sektörlerde, kaynak verimliliğine ilişkin bir yaklaşım olan endüstriyel simbiyoz metodolojisinin kullanımıyla, "Ekonomik faaliyetin malzeme kullanımından ayrışması" amacına yönelik örnek bir model olabilecek organize sanayi bölgesi tasarlanması olmuştur.

1.5 Çalışmanın Amacı

Yukarıda belirtilen sanayi bölgesi tasarlanması için bazı karmaşık süreçlerin aşılması gerekmektedir. Çalışma süresince, sektörler arasında, birden fazla ikincil hammadde kaynağı varlığında oluşabilecek karmaşık akışları, maddelerin birbirleriyle etkileşimleri ve üretim çıktılarına etkilerini göz önünde bulundurarak, bu ilişkiyi analiz edebilecek gerçekçi ve esnek bir yöntem geliştirilmesi amaçlanmıştır. Çalışılacak sisteme dâhil edilen tüm üretim proseslerinin ve kaynak akışlarının detaylı analizi, endüstriyel simbiyoz potansiyellerinin etkili bir şekilde belirlenmesini sağlamıştır.

Bu nedenle, bu çalışmada aşağıdaki adımlar esas alınmıştır:

- Avrupa atık yönetimi stratejilerinde belirtilen kaynak yoğun sektörlerin (çelik, seramik, alüminyum, çimento ve beton) seçilmesi,
- Bu sektörlerin gelecek yıllardaki üretimlerinin ve atık oluşum eğilimlerinin belirlenmesi
- Temel çevre konularının ve üretim proseslerindeki kütle girdi- çıktıları dikkate alınarak simbiyotik akış senaryolarının oluşturulması,
- Ekonomik ve çevresel hedefleri göz önünde bulundurarak senaryoların modellenmesi ve uygulanabilir bir çözüm elde etmek için matematiksel programlama kullanılması

1.6 Çalışmanın Kapsamı

Bu çalışma, ekonomide önemli bir yeri olan ve aynı zamanda hem atık üretiminde hem de enerji tüketiminde kayda değer bir paya sahip olan kaynak yoğun sektörlerde endüstriyel simbiyoz yaklaşımıyla bir organize sanayi bölgesi (OSB) tasarlanmasına dayanmaktadır. Çalışma mevcut örnek OSB incelemesi değildir. Sistem hipotetik olarak tasarlanmıştır. Ancak kullanılan yöntem mevcut bir sisteme uygulanabilir bir yöntemdir. Sistem tasarımı için ikinci bölümde detayları verilen sektörler seçilmiştir.

Bu çalışmanın kapsamına giren sektörlerinin endüstriyel kapasiteleri veya üretim hacimleri için, çoğunlukla Avrupa veya küresel üretici dernekleri ve sanayi temsilcileri tarafından yayımlanan dökümanlardan yararlanılmıştır. Oluşan atık miktarları için varsa direkt veri; olmadığı durumlarda da atık oluşum katsayıları kullanılmıştır. Atık oluşum katsayıları Avrupa Komisyonu tarafından Endüstriyel Emisyon Direktifi (IED-The Industrial Emission Directive) kapsamında yayınlanan, “BAT- Best Best Available Techniques” olarak da adlandırılan, Mevcut En İyi Teknikler Kaynak Dökümanları’ndan -Best Available Techniques Reference Documents (BREFs) elde edilmiştir.

Bunlara ek olarak, atık işleme uygulamalarının tanımlanması, maliyet ve sektörel tanımlamalar için hakemli dergi makaleleri ve gri literatür (teknik raporlar, pazar araştırma raporları, konferans dökümanları, tezler, vb.), en çok kullanılan bilgi kaynakları olmuştur.

Maliyet verileri üreticiler tarafından paylaşılmadığından, bazılarında literatürdeki çalışmalardan, bazılarında ise istatistiksel veri sağlayan web sitelerinden elde edilmiştir.

Oluşturulan akış senaryolarının optimizasyonu için MATLAB programı kullanılmıştır.

1.7 Çalışmanın İçeriği

Bu alışma beş bölümden oluşmaktadır. 1.Bölüm'de çalışma konusu olan "Temiz Üretim", "Kaynak Verimliliği" ve "Endüstriyel Simbiyoz" hakkındaki bilgiler sunulmaktadır. Sonrasında bu konulara ilişkin yapılan alışmalar "Literatür Araştırması" başlığı altında 2. Bölüm'de verilmektedir. 3. Bölüm'de kaynak yoğun sektörlerle ilgili verilere ve analizlere yer verilmiştir. 4. Bölüm'de çalışmadaki metodoloji aktarılmaktadır. Ardından 5. Bölüm'de çalışmanın sonuçları ve öneriler sunulmuştur.

2 LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatürde sektörler arasındaki akışların modellenerek kaynak verimliliğinin sağlanması için farklı çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların içerikleri aşağıda verilmiştir.

Karlsson ve Wolf [28], çalışmalarında karma tam sayılı programlama (MILP) tabanlı yaklaşımla bir model geliştirmişlerdir. Endüstriyel simbiyozun değerlendirilmesinde nasıl kullanılabileceğini göstermek için orman endüstrisinde bir kimyasal selüloz tesisi, bir kereste fabrikası, merkezi ısıtma ağı ve biyo-yakıt tesisi içeren bir model kullanılmışlardır. Orman endüstrisinde farklı entegrasyon biçimlerini değerlendirmek için bir vaka çalışması yapmışlardır. Kimyasal selüloz/hamur fabrikası, kereste fabrikası ve biyo-yakıt iyileştirme tesisine sahip entegre bir sistemin toplam sistem maliyetlerini çıkarmışlardır. Benzer şekilde, bağımsız modda işletilen ilgili sistemin maliyetini de belirleyip birbiriyle karşılaştırarak endüstriyel simbiyozun yararlarını değerlendirmişlerdir. Finansal faydalar karar vericiler için önemli bir hedef olduğundan, maliyeti dikkate alarak optimizasyon yapmışlardır. MILP, ES ağını pek çok yönden modellemek için uygulanabilir bir yaklaşımdır. Ancak bu çalışmada, atık oluşumunu en aza indirmek ve farklı girdiler için prosesler arasındaki ilişki çalışmaya dâhil edilmemiştir.

Meneghetti ve Nardin [29]'in çalışmalarında, endüstriyel simbiyoz yaklaşımı ile Kuzeydoğu İtalya'da, bir dizi şirkete hizmet veren bölgesel ısıtma ile birleştirilmiş bir ısı ve güç sisteminin uygulanabilirliğini analizine yer vermiştir. Çalışma sistemine üçü mekanik endüstrisinden, biri gıda endüstrisinden ve biri de market ürünleri dağıtım sektöründen olmak üzere 5 firma dâhil edilmiştir. Buradaki bir Tesis Yönetimi hizmet sağlayıcısı için karar destek aracı olarak kullanılabilecek bir optimizasyon modeli geliştirmişlerdir. Tesis Yönetimi sağlayıcısı, enerji ve atık yönetimine kadar geniş bir yelpazedeki faaliyetlere sahip "organizasyonun performansını artırmak için entegre yönetim sistemi" olarak hizmet vermektedir.[29] Bu model farklı enerji satış fiyatlarındaki kârlılığa dayanmaktadır. Sadece CHP sistemleri veya bölgesel ısıtma tasarımı için önerilmektedir. Firmalar arasında simbiyoz yaklaşımından başka bir malzeme aktarımı bu çalışma kapsamına dâhil edilmemiştir.

Cao v.d. [30], doğal gaz ve halitin ana girdiler olarak kullanımı için varsayımsal bir eko- parka ajan tabanlı modelleme (agent based modelling) uygulamasını sunmuştur. Eko-endüstriyel sistemlerdeki fabrika bir ajan olarak alınmış ve nesnelere, özellikler ve davranışlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Ajanlar arasında etkileşim mekanizmaları da tasarlanmıştır. Tasarlanan eko-endüstriyel parkta, doğal gaz kimya endüstrisi ve tuz kimyası endüstrisini geliştirmek için halit (0.28 trilyon ton rezerv) ve doğal gaz (0.2 trilyon metreküp rezerv) değerlendirilmektedir. Modelin amacı, süreçlerin envanterini belirleyerek kârı maksimize etmek ve her ürünün fiyatını belirlemektir. Ajan tabanlı modelleme kullanılmış ve Swarm yazılımı kullanılarak simüle edilmiştir. Çalışma sonucunda, arz ve talep hesaplamaları yapılarak önceden tespit etmesi zor olan kâr ve stok dalgalanmaları tahmin edilebilmiştir. Örneğin bir malzeme piyasaya girdiğinde talebin yüksek olmasına bağlı olarak kârın Pazar doyana kadar ne ölçüde artacağı veya azalacağı bilgileri elde edilebilmiştir. Burada görülmüştür ki, ajan tabanlı modelleme endüstriyel simbiyoz (ES) ağı için bir fikir sağlayabilir, ancak optimum bir çözüm sunmamaktadır.

İncelenen bir diğer çalışma Bailey v.d.ne aittir.[31] Çalışmalarında matematiksel girdi-çıkı analizini ekolojik bir perspektiften uygulayarak sunmuşlardır. Endüstriyel sistemlerde kullanılmak üzere, malzeme ve enerji akışlarını modellemek için girdi-çıkı analizini kullanarak çevresel etki değerlendirmesi yapmışlardır. Ekolojik Girdi-Çıkı Analizi (Ecological Input-Output Analysis-EIOA) olarak bilinen bu çalışma endüstriyel ekosistem ekonomisini, çevresel ve sosyal davranışını belirleyebilmektedir. Çalışmanın, birincil ve ikincil metal üretimlerinde gerçekleştirilmiştir. Metaller geri dönüşümle bozulmadığından atık yığınları özellikle metaller için iyi kaynaklardır. İkincil metal üretimi (yani geri dönüşüm veya geri kazanımı), üreticilerin tüm metal girdilerinin % 50'sinden fazlasına karşılık gelebilmektedir.[31] Malzeme akışının geri besleme döngülerinin modellenmesinde akış analizinin faydasının değerlendirilebilmesi açısından bu çalışma için metal akışları tercih edilmiştir. Amerika Birleşik Devletleri'nde her biri geri dönüştürüldüğü dolayısıyla da verileri mevcut olduğu için alüminyum, kurşun, magnezyum, çinko, krom ve nikel malzemeleri çalışma kapsamına alınmıştır. Bu malzemelerin endüstride potansiyel akışları araştırılmıştır. Çalışma sonucunda sistem davranışını akış ölçümleri ile

karakterize etmişlerdir. İlgili malzemelerin ne kadarının dışardan getirtilip ne kadarının ithal edileceğini tespit etmişlerdir.

Kim v.d.nin [32] çalışması, eko-endüstriyel sistem tasarımı için çok aşamalı bir Karışık Tamsayılı Doğrusal Programlama (Mixed Integer Linear Programming - MILP) modelinin geliştirilmesi ve sonuçların ekonomik ve çevresel analizinden oluşmaktadır. Önerilen yaklaşım, Güney Kore'de temsili bir kimyasal/petrokimya kompleksi olan Yeosu Endüstri Kompleksine uygulanmıştır. Çalışmada iki tür tesis tanımlanmıştır; kaynak tesisler ve hedef tesisler. Kaynak tesisler buhar üreten tesislerdir. Kaynak tesislerin buhar üretimiyle ilgili olarak, kazan ve türbinleri vardır. Hedef tesis ise buhar tüketen tesislerdir. Bunlardan bazıları yüksek basınçlı buhar üreten enerji santralleri olabilir. Bazıları ise farklı kimyasal tesislerdir. Hedef tesislerin çoğu polimer üreten petrokimya şirketleridir. Çalışma, 10'u kaynak, 5'i hedef olmak üzere 15 tesis üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kompleksin tüm ihtiyacının karşılanması amaçlanmıştır. Çalışma sonunda ilgili tesislerin yakıt ve buhar tüketimi optimize edilmiştir. Buna bağlı olarak emisyon değerlerindeki azalmalar analiz edilmiştir.

Zhou v.d. [33], Çin'in hızla artan kömür bağımlılığından dolayı, salınımların azaltılması, verimliliğin artırılması için endüstriyel simbiyoz yaklaşımıyla bir kömür kimyasal tesisinin kurulabileceğini ortaya koymuşlardır. Endüstriyel simbiyoz yaklaşımının etkisini görebilmek için, eko-endüstriyel bir kömür tesisi modelini oluşturmuşlardır. Senaryo optimizasyonu ve lineer programlama kullanılarak, farklı senaryolarda sistemin davranışları ve optimal endüstriyel yapıları karşılaştırmışlardır. Burada verimli kaynak kullanımı, karbondioksit emisyonlarının azaltılması ve ekonomik fayda sağlanması amaçlanmıştır. Sistem, ana ürünlerin kok, asetilen, metanol, dimetil eter, yağ, hidrojen (H₂), amonyak ve olefin ve ana hammaddelerin kömür ve doğal gaz olduğu, genel olarak 29 senaryoyu içermektedir. Çözümü kolaylaştırmak için, problemi doğrusal olarak çözmüşler ve yukarıda belirtilen üç farklı göstergelyi değerlendirerek tek amaçlı optimizasyon çalışmışlardır. Çalışmanın sonucunda, kok kömür kullanımında %15 azalma sağlandığını belirtmişlerdir.

Ng v.d. [34] içinde hem biyo-rafinerileri hem de kojenerasyon tesislerini içeren biyoenerji tabanlı endüstriyel simbiyoz sisteminin tasarımında kullanılacak bulanık optimizasyona dayanan bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Bu yaklaşımla, simbiyotik ağdaki her tesisin ekonomik performansını en üst düzeye çıkarılması ve sistemde esneklik sağlanması amaçlanmıştır. Bulanık optimizasyon, "yumuşak" sınırlamaların yanı sıra çoklu hedeflerin tek bir amaç fonksiyonuna entegrasyonuna izin verir, böylece bunların hepsi eşit şekilde karşılanır. Her bir katılımcının eko-endüstriyel su şebekesinde çıkar çatışmaları olduğunu düşünen karar problemleri bulanık karar modelleri olarak formüle edilmiştir. Önerilen yaklaşım için Malezya'daki 19 milyon ton üretim kapasitesine sahip bir palm yağı tesisinin verileri kullanılmıştır. Her biri farklı işleme tesislerinde ayrı ayrı ekonomik beklentileri olan birden fazla üreticinin bulunduğu biyoenerji bazlı endüstriyel simbiyoz sisteminin sentezi için önerilen yaklaşımda, iki senaryo oluşturulmuştur. İlkinde ekonomik beklentiler ihmal edilmiştir. İkincisinde de her tesisin maksimum ekonomik performansı elde etmesi amaçlanmıştır. Optimizasyon sonucunda hangi tesislerin bu sisteme katılıp katılmayacağı görülmüştür. Bunun yanında hedeflenen ekonomik değerler de karşılaştırılmıştır. Bulanık optimizasyon ekonomik hedefler için faydalı bir yaklaşım olsa da, belirsizlik ve çoklu akış durumunda tam olarak tatmin edici sonuçlar vermeyebilir.

Romero ve Ruiz [35], eko-endüstriyel parklar için sürdürülebilir stratejilere dayalı endüstriyel alanların yeniden tasarlanmasını destekleyen analitik bir model önermişlerdir. Bu modeli ajan tabanlı modelleme yöntemini baz alarak geliştirmişlerdir. Önerilen model, endüstriyel alanlarda malzeme değişim ağları gibi işbirlikçi stratejilerin belirlenmesi sürecini destekleyen bir veri tabanını endüstriyel alanlara entegre etmektedir. Çalışma, simülasyon modellerine dayanan istatistikî çıkarımlar için gerekli olan analitik model formülasyonu aşamasını kapsamaktadır. Yani bir sonraki aşamalar için, formüle edilen analitik modeli uygulayabilen ve simüle edebilen uygun bir hesaplama desteğinin seçilmesini gerektirir. Daha önce Cao ve arkadaşlarının çalışmasını anlatılırken belirtildiği üzere, ajan tabanlı modeller optimal bir sonuç vermez. Burada ampirik bir doğrulama yapılması gerekir.

Bunun da gerçek bir endüstriyel simbiyoz uygulama alanıyla desteklenmesi gerekir. O nedenle, bu çalışma karar verme için uygun çözümleri tek başına sağlayamaz.

Gu v.d. [36] çalışmalarında, bir endüstriyel parkta yer alan tüm işletmelerin faydalanacağı bir model geliştirmeyi hedeflemişlerdir. Oluşturdukları modelin amacı, tesisler arası toplam akış miktarını ve endüstriyel parkın ekonomik faydasını maksimize ederken, çevre kirliliğini, endüstriyel atık iyileştirme maliyetlerini ve taşıma maliyetlerini minimize etmektir. Model çok amaçlı olarak tasarlanmıştır ve birçok parametreyi kapsamaktadır. Ancak sabit bir model olduğu ve herhangi bir uygulaması yapılmadığı için gerçek bir parkın durumunu yansıtmıyor olabilir. Modelde verilen sınırlar test edilmemiştir, bu nedenle simüle edilmesi gerekmektedir.

Gonela ve Zhang [37]'in çalışması, endüstriyel simbiyozun, biyoetanol üretiminin maliyetlerini azaltmaya yardımcı olabilecek sürdürülebilir stratejilerden biri olması üzerine kurgulanmıştır. Petrol ürünlerinin aşamalı olarak biyoetanol ile yavaş yavaş ikame edilmesi fikri gelişmeye başlamıştır ancak ekonomik olarak uygulanabilirliği sorgulanmaktadır. Çalışmalarında biyoenerji bazlı endüstriyel simbiyozun optimal konfigürasyonunu belirlemek ve biyoenerji bazlı endüstriyel simbiyozda çeşitli ürünlerin optimal ağ akışlarını tasarlamak için Doğrusal Programlama modellerini ve büyük ölçekli Karışık Tamsayılı Doğrusal Programlama modelini birleştiren bir modeli önermişlerdir. Modelin amaç fonksiyonu kârı maksimize etmek olarak belirlenmiştir. Aralarında akış potansiyeli olan 5 tesis sisteme dâhil edilmiştir; biyorafineri tesisi, kojenerasyon tesisi, anaerobik artıma tesisi, arpa tesisi ve çimento tesisi. Çalışmanın sonucunda tesisin kârlılığında önemli bir artış olduğu belirtilmiştir.

2.1 Bölüm Sonucu

Bu bölümde endüstriyel simbiyoz yaklaşımıyla modellenen endüstriyel parkların, incelenen literatürdeki modelleme yöntemleri sunulmuştur. Çalışmalar özet bir tablo halinde Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1 İncelenen çalışmalar

Kaynak	Kullanılan Yöntem
Karlsson ve Wolf [28]	Karma Tam Sayılı Programlama (Mılp)
Meneghetti ve Nardin [29]	Tesis Yönetimi
Cao v.d. [30]	Ajan Tabanlı Modelleme
Bailey v.d. [31]	Matematiksel Girdi-Çıktı Analizi
Kim v.d. [32]	Karma Tam Sayılı Programlama
Zhou v.d. [33]	Doğrusal Programlama
Ng v.d. [34]	Bulanık Optimizasyon
Romero ve Ruiz [35]	Ajan Tabanlı Modelleme
Gu v.d. [36]	Çok Amaçlı Optimizasyon
Gonela ve Zhang [37]	Doğrusal Programlama

İnceleme sonucunda, çeşitli çevre strateji raporlarında önceliklendirilen kaynak yoğun sektörlerde endüstriyel simbiyoz yaklaşımıyla yapılan herhangi bir verimlilik çalışmasına rastlanmamıştır. Gitgide azalan doğal kaynaklar göz önünde bulundurulduğunda, üretimi dünya genelinde sürekli artış gösteren kaynak yoğun sektörlerle ilgili kaynak kullanımının azaltılmasına yönelik bir çalışma yapılması büyük önem arz etmektedir. Bunun yanısıra, incelenen endüstriyel simbiyoz çalışmalarında, simbiyotik ilişkiler belirlenirken, hammadde ikame oranının tam olarak analiz edilmediği görülmüştür. Oysa ki, ikincil hammadde olarak kullanılan atıklar, kullanım miktarına bağlı olarak, girdi karışımındaki diğer malzemelerle etkileşebilmekte, son ürünün özelliklerine (dayanım, sertlik vb.) direkt olarak etki

etmekte ve çıktı bileşimlerinde de emisyon içerikleri konusunda önemli rol oynamaktadır.

3 KAYNAK YOĞUN ENDÜSTRİLER, ÜRETİM PROSELERİ VE ATIKLARI

Giriş bölümünde bahsedildiği üzere kaynak yoğun sektörler, mineral, kimyasal, çelik, çimento, seramik, demir esaslı olmayan metaller ve inşaat sektörleridir ve bunların, su, enerji ve hammadde doğal kaynaklarına bağımlılığı çok yüksektir. Bu bölümde bu sektörlerin üretim prosesleri, girdileri ve çıktıları incelenecek ve birbirleriyle kurabilecekleri simbiyotik ilişki potansiyelleri irdelenecektir.

3.1 İnşaat sektörü

İnşaat sektörü, binalar (konut ve konut dışı ticari veya kurumsal binalar), altyapı (büyük kamu işleri, barajlar, köprüler, otoyollar, arıtma tesisleri) ve endüstriyel (rafineriler, kimyasal üretim veya enerji santralleri) olarak üç ana yapı tipini kapsar.

İnşaat, dünyadaki en büyük pazarlardan biridir. Büyük Avrupa ülkelerinin toplam inşaat pazarı üretimi, 2014 yılında 1,35 trilyon Euro'nun üzerinde bir değere ulaşmıştır Ayrıca, inşaat dünyadaki iş yaratma açısından en önemli sektörlerden biridir ve AB'deki toplam istihdama % 7'lik bir oranda katkıda bulunmaktadır [38].

İnşaat sektörü hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ekonomilerdeki hükümetler için kilit bir rol oynamaktadır. İklim değişikliği, kaynak kıtlığı ve hızlı kentleşme, toplum refahını etkileme potansiyeli olan zorluklar arasında yer almaktadır. Sektör yeni işler yaratmakta, ekonomik büyümeyi teşvik etmekte ve sosyal, iklim ve enerji zorluklarını gidermek için çözümler sunmaktadır. Kırsal alanlardan kentsel alanlara sürekli bir göç vardır ve inşaat sektörü, gittikçe kalabalıklaşan şehirlerin, insanlara yeterli konut ve altyapı sağlamaktadır.

Konut ve konut dışı binaların inşaatı, pazar hacmindeki toplam % 78'lik pay ile pazara hâkimdir. Avrupa Birliği'nin 2003 -2011 yılları arasındaki, yıllık inşaat malzemesi talebi, yeni binalar ve yenileme projeleri için 1,2 - 1,8 milyon ton olarak

kaydedilmiştir. Bu tür projelerde ağırlıklı olarak demir, alüminyum, bakır, seramik, çakıl, kireçtaşı, ahşap ve taş şeklinde hammadde tüketimi, Avrupa'da brüt malzeme kullanımının % 30 - 50'sini oluşturmaktadır. Toplam agrega kullanımı ise bu oranın yaklaşık % 65'ini (kum, çakıl ve kırılmış kaya) ve toplam metal kullanımı da % 20'sidir [39].

3.1.1 İnşaat Yapım ve Yıkım

İnşaat sektöründe yapımın yanı sıra bir diğer faaliyet yıkım süreçleridir. Bu süreçler, yenileme işlemleri sırasında veya ömürlerinin sonunda binaların bertaraf edilmesidir. Yıkım, büyük hidrolik ekipman, vinç, ekskavatör veya buldozer kullanımını gerektirebilecek faaliyetleri içerir.

İnşaat yapım ve yıkım (İYY, Construction & Demolition-C&D) sektörü, Avrupa Birliği (AB)'nde oluşan en ağır ve en büyük atık akışlarından birine sahiptir. İYY atığı, çoğu geri dönüştürülebilir beton, tuğla, fayans, alçı taşı, ahşap, cam, metal, plastik, solvent, asbest ve kazılmış toprak içerir. Bu atıklar toplam AB atık üretiminin yaklaşık % 25-30'udur [40].

İnşaat ve yıkım faaliyetleri, yüksek miktarlarda katı atık oluşumu, hava emisyonları, su kullanımı ve emisyonlar ile enerji tüketimi şeklinde bir dizi çevresel etkiyle ilişkilendirilebilir. Bir inşaat yıkım projesi sırasında yaratılan çevresel etkilerin kapsamı, kullanılan inşaat malzemelerinin tipine bağlıdır. Bu malzemeler içerik, dayanıklılık, kullanım ömrü, yaşam döngüsü enerji tüketimi, geri dönüşüm potansiyeli ve ulaşım için gereken mesafeler bakımından farklı özelliklere sahip olabilir [41]

3.1.2 Atıklar

“İnşaat ve yıkım atıkları (Construction & Demolition Waste-C&DW)” terimi, binaların ve altyapıların yapımından ve yıkımından oluşan büyük miktarda atık malzemenin tanımlanması için kullanılmaktadır.

İYY atığı, yapım ve yıkım projelerinin niteliğine ve yapının özelliklerine göre hem miktar hem de içerik bakımından büyük farklılıklar göstermektedir. İnşaat ve yıkım projelerinden elde edilen birçok atık maddesi aynı olmakla birlikte, yıkım projelerinde, inşaat projelerinden 20 ila 30 kat daha fazla atık yaratmaktadır [42].

Üretilen büyük miktardaki atık nedeniyle, İYY atıkları yeniden kullanım ve geri dönüşüm için öncelikli atık yığını olarak tanımlanmıştır. Bu atıklar için kullanılan uygun geri dönüşüm ve etkili arıtma-iyileştirme yöntemlerinin önemli ölçüdeki etkileri ve avantajlarından dolayı, atık bertarafı AB'deki popülerliğini yitirmektedir. AB Atık Çerçeve Direktifi (Waste Framework Directive WFD-2008/98 / EC), AB Üye ülkelerinin, 2020 yılına kadar tehlikeli olmayan inşaat ve yıkım atıklarının ağırlıkça en az %70'lik yeniden kullanım, geri dönüşüm ve diğer malzemelerin geri kazanılması (geri doldurma-backfilling dâhil) hedefine ulaşmak için gerekli önlemleri almalarını gerektirmektedir [15].

Bileşenler bakımından değişken olmasına rağmen, İYY atığı farklı malzemelerin kombinasyonundan oluşabilir. Bu atıkların genel bir gruplandırması Çizelge 2'de görülmektedir.

Çizelge 2 İnşaat atıkları sınıflandırması [43]

	Hafriyat Toprağı	Yol Çalışması Atıkları	Yıkım Atıkları	Karışık Atıklar
Kaynak	Kazı işlemleri	Yol, havaalanı, pist yapımı, yenileme ve yıkım çalışmaları	Bina yıkım çalışmaları	Yapım, kazma, yenileme, yıkım çalışmaları
Bileşenler	Nebati toprak, kum, çakıl, kaya, kil	Beton, asfalt parçaları, kum, demiryolu traversleri, çakıl	Demirli ve demirsiz beton, çatı konstrüksiyonu (izolasyon malzemeleri, kiremit vb.), Cam, Duvar malzemeleri (tuğla, braket vb.), alçı, alçıtaşı vb.	Plastik, seramik, beton, tuğla, taş, kum, çakıl, metal, cam, kâğıt, mukavva

Yukarıda belirtilen bileşenler arasında, ahşap, beton, tuğla ve diğer duvar atıkları konut yıkım atıklarının %60'ından fazlasını, konut dışı yıkım atıklarının da % 80'inden fazlasını oluşturmaktadır [42]. Ayrıca, İYY atıkları arasında boya, bağlayıcı, yapıştırıcı, duvar kaplama malzemesi, yalıtım malzemesi ve kirele karşılaşmak da mümkündür. İçerikteki bazı malzemelerin oranları Çizelge 3'te sunulmuştur.

Çizelge 3 İYY atık içerik oranları [44]

Madde tipi	% - Min.	% - Maks.	Milyon ton (Mt) (Min)	Milyon ton (Mt) (Maks)
Beton ve Duvarcılık - Toplam	40,00%	84,00%	184	387
Beton	12,00%	40,00%	55	184
Duvar malzemeleri	8,00%	54,00%	37	249
Asfalt	4,00%	26,00%	18	120
Diğer mineral atıklar	2,00%	9,00%	9	41
Ahşap	2,00%	4,00%	9	18
Metal	0,20%	4,00%	1	18
Alçıtaşı	0,20%	0,40%	1	2
Plastik maddeler	0,10%	2,00%	0	9
Diğer	2,00%	36,00%	9	166

3.1.2.1 Atık Yönetimi

İnşaat sektöründe, İYY atıklarının ne yapılacağı konusu çevresel sorunlarda önemli bir yer tutmaktadır. Bölüm 4.1.1.1.1'de de verildiği üzere bu atıkların miktarı gitgide artacağı tahmin edilmektedir. Bu atıkların uygun olmayan yollarla depolanması çevresel ve finansal yüklere yol açmaktadır. Bu olumsuz etkileri azaltmak için uygun atık yönetim yöntemlerinin belirlenmesi ve uygulanması gerekmektedir [43].

Atığın oluştuğu bölge ve fiyatlandırma, atıkların geri kazanım oranını etkileyen ana parametrelerdir. Çok büyük miktarlarda atık oluşan yerlerde veya içeriklerine göre farklı yöntemler gerektiren atıklarda bertaraf maliyetleri hayli yüksek olabilmektedir. Sonuç olarak, inşaat yapım ve yıkım sektöründeki atıklar için geri dönüşüm ve pazar geliştirme büyük önem taşımaktadır [45]. Bu atıkların yeniden kullanımı, özel bir geri

dönüşüm merkezinde gerçekleştirilebilir veya mümkünse (mobil ekipman kullanımına uygun bir alansa ve çevrede, oluşacak gürültü ve tozdan etkilenecek yakınlıkta yerleşim yeri yoksa) yıkım alanlarında yapılabilir.

Ayrı bir geri dönüşüm merkezi, geri dönüştürülmüş malzemelerin kalite kontrolü, stoklanması, pazarlanması gibi avantajlara sahiptir. Bu tür tesis, işleme tabi tutulan olumsuz çevresel etkileri azaltmak veya azaltmak için tekniklerin uygulanmasını sağlar.

AB ülkelerinde yeniden kullanılan veya geri dönüştürülen İYY atık yüzdeleri Çizelge 4'te verilmektedir. AB-27 için ortalama% 46 geri dönüşüm oranı, belirsizliği yüksek olan geniş bir tahmindir. Ancak, incelen çeşitli yayınlarda önerilen tahminlerin (% 30 – 60) arasında olduğundan makul sayılabilir.

Çizelge 4 İYY atık değerlendirme yüzdeleri [44]

Ülke	Yeniden kullanım veya Geri Dönüştürme Oranı
Avusturya	60%
Belçika	68%
Bulgaristan	0%
Kıbrıs	1%
Çek Cumhuriyeti	23%
Danimarka	94%
Estonya	92%
Finlandiya	26%
Fransa	45%
Almanya	86%
Yunanistan	5%
Macaristan	16%
İrlanda	80%
İtalya	0%
Letonya	46%
Litvanya	60%
Lüksemburg	46%
Malta	0%
Hollanda	98%
Polonya	28%
Portekiz	5%
Romanya	0%
Slovak cumhuriyeti	0%
Slovenya	53%
İspanya	14%
İsveç	0%
Türkiye	0%
Birleşik Krallık	75%
TOPLAM - AB 27	46%

Erişilebilen verilere göre bir değerlendirme yapılacak olunursa, Danimarka, Estonya, Almanya, İrlanda, İngiltere ve Hollanda direktiflerin gerektirdiği gibi geri dönüşüm işlemlerini raporlamaktadır. Avusturya, Belçika ve Litvanya geri dönüşüm oranları için % 60 ila % 70; Fransa, Letonya, Lüksemburg ve Slovenya % 40 ila % 60, diğer 8 ülke ise %40'ın altında olduğunu bildirmektedir. Türkiye için tahmin yapılabilecek bir veriye ulaşılamamıştır.

Veriler ülkeler arasında farklılıklar olduğunu göstermektedir. Monier v.d., AB Üye Devletlerinde İYY atığı için farklı kontrol ve raporlamanın yanı sıra atık tanımları ve raporlama mekanizmalarının da farklı olmasından kaynaklanabileceği belirtilmiştir [44].

3.2 Seramik Üretimi

Genel olarak “seramik” (seramik ürünler) terimi, metalik olmayan bileşiklerden oluşan ve bir fırınlama ile kalıcı hale getirilen, inorganik malzemeler için kullanılmaktadır. Seramik sektöründe farklı alanlarda kullanılmak üzere birçok farklı ürün söz konusudur. Bunlardan bazıları, duvar ve yer karoları, tuğlalar ve kiremitler, vitrifiye kil borular, süs eşyaları, vb. tuğla ürünleri, birçok inşaat kategorisinde malzeme olarak kullanılan büyük miktarlarda üretilen seramik ürünleridir.

Seramik pazarı 2020 için tahminlerde 296,2 milyar ABD dolarından 502,8 milyar ABD dolarına yükselmektedir [46].

İnşaat yapımında kullanıldığı için bölümün devamında kiremit ve tuğla üretimlerine yoğunlaşılacaktır. Tipik bir seramik üretim sürecinde aşağıdaki aşamalar takip edilmektedir [47].

1. Hammadde Hazırlığı: Seramik işlemi, esas olarak kil, feldispat, kum, karbonat ve kaolinler olan gövde bileşimi için gerekli hammaddelerin seçilmesi ile başlar. Hammaddeler genellikle madenden çıkarıldıkları haliyle kullanılır. Ya da uygun homojenizasyon ve tutarlı özellikler sağlamak için bazı küçük işlemlerden sonra kullanılır.
2. Öğütme ve Spreyle Kurutma: Gövde bileşenler karıştırıldıktan sonra karışım, kesintisiz veya değirmenlerde ıslak öğütülür. Islak yöntemle elde edilen öğütülmüş malzemede tüm parçacıklar 200 mikrondan daha küçüktür. Elde edilen süspansiyonda bulunan suyun bir kısmı, her işlem aşaması için

gereken neme sahip bir ürün elde etmek üzere spreyle kurutma yoluyla uzaklaştırılır.

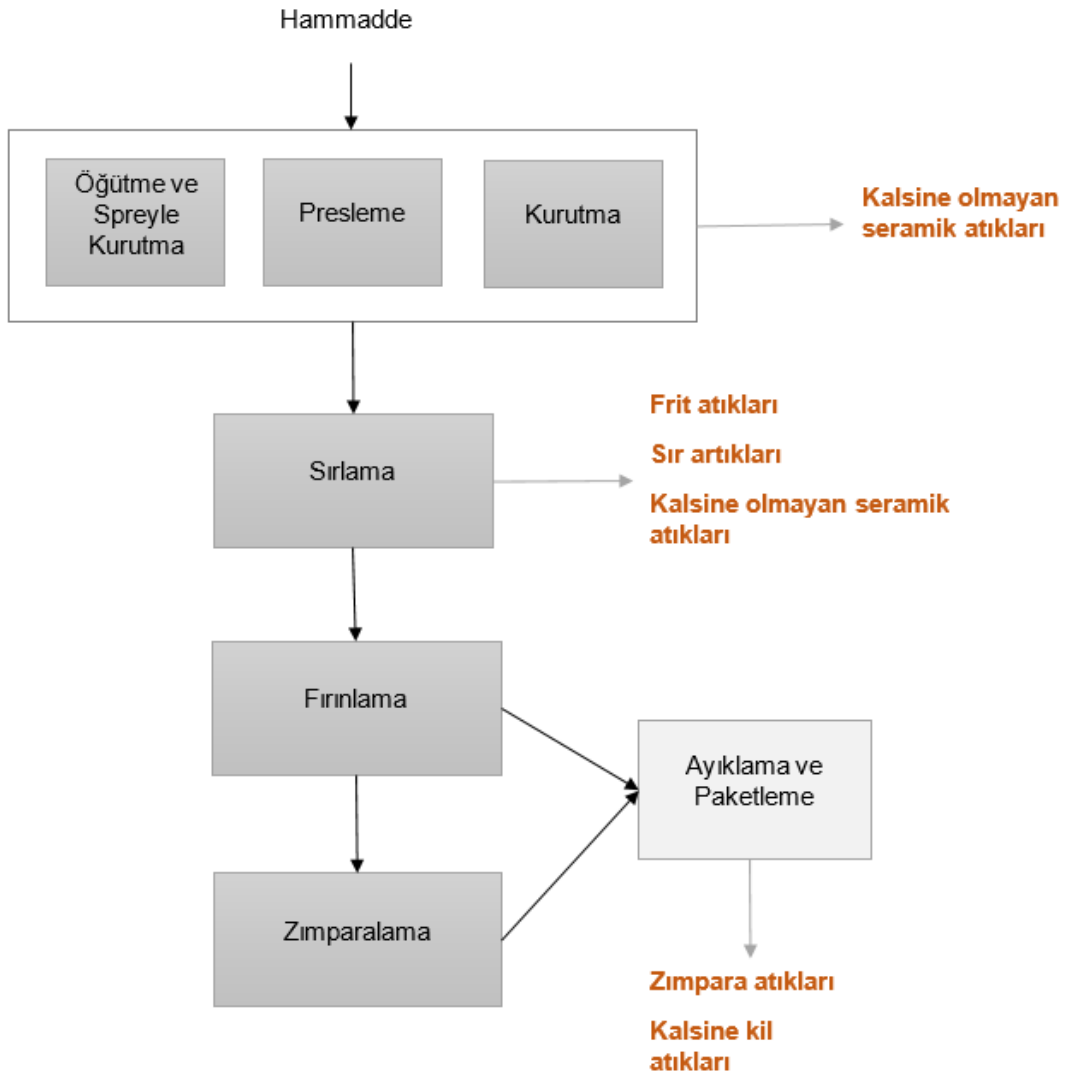
3. Presleme: Hamur kalıpta mekanik olarak sıkıştırılır. Bu işlem %5-7 nem içeriğinde gerçekleştirilir. Kuru presleme olarak adlandırılır. Düzenli bir geometri ile seramik eşya yapmak için en uygun maliyetli şekillendirme yöntemlerinden biridir.
4. Kurutma: Preslenen karo/kiremit gövdesi, nem içeriğini azaltmak için (%0.2-0.5) kurutulur. Böylece fırınlama ve sonraki sırlama işlemlerine uygun hale getirilir.
5. Sırlama: Bu adım, farklı yöntemlerle karo yüzeyine toplam 75-500 mikron kalınlığında bir veya daha fazla sır katı uygulanmasını içerir. Sırlama işlemi, fırınlanan ürüne sızdırmazlık, temizlenebilirlik, parlaklık, renk, yüzey dokusu ve kimyasal ve mekanik direnç gibi bir dizi teknik ve estetik özellik sağlamak için yapılır.
6. Fırınlama: Ürünün çoğu özelliğinin bu aşamaya bağlı olması nedeniyle, fırınlama en önemli üretim süreci aşamalarından biridir. Bu özellikler, mekanik dayanım, boyutsal kararlılık, kimyasal dayanım, yangına dayanıklılık, gibi özellikleridir. Fırınlama işleminde parça, içerisinde bir dizi Reaksiyonun ve mikro yapıdaki değişikliklerin meydana geldiği ve istenen son özelliklerin temin edildiği bir termal çevrime maruz bırakılır.

Tuğla ve kiremit üretiminin girdi ve çıktıları içerdiği üretim prosesleri akış şeması Şekil 3'de verilmiştir.

3.2.1 Atıklar

Kalsine artıklar, fırınlama işleminden ve fırınlamadan sonraki öğütme işleminden ortaya çıkmaktadır. Şekil 3'te kiremit ve tuğla üretimine ilişkin bir akış şeması sunulmuştur. Seramik ürünler yüksek oranda kil minerali içeren doğal

malzemelerden üretilmektedir [47]. Kurutma işleminden sonraki fırınlama işleminde yüksek sıcaklıklara (1000°C-1400°C) maruz bırakılan bu mineraller kalsine kilin karakteristik özelliklerini kazanır [47]. Bu nedenle, seramik malzemelerin üretim süreçleri kil minerallerini aktive edebilir ve onlara puzolanik özellikler verebilir. Puzolanlar alüminyum ve silisyum temelli maddelerdir. Tek başlarına bağlayıcı özellikleri yoktur ancak kireç ya da çimento ile karıştırıldığında suyla tepkimeye girip bağlayıcı karakter kazanırlar [48] .



Şekil 3 Tuğla ve kiremit üretim süreci

3.2.1.1 Atık Yönetimi

Kalsine kil atıkları, puzolanik özellikleri nedeniyle çimento endüstrisinde değerlendirilmek için büyük fırsatlar sunmaktadır. Puzolanik malzemeler, son üründe uzun vadeli mekanik dayanım, genleşmeye karşı kararlı direnç ve düşük hidrasyon ısı gibi teknik gelişmeler sağlamaktadır [49].

3.3 İkincil Alüminyum Üretimi

Alüminyum üretimi, Avrupa'daki demir dışı metal endüstrisinin bir parçasıdır. Demir dışı metal endüstrisi hem birincil hem de ikincil (geri dönüştürülmüş) malzemeler tüketir. Birincil hammaddeler doğal cevherlerden elde edilir ve daha sonra ham metal üretmek için metalurjik olarak işlemden geçirilir. Çoğu metal konsantresi, dünya çapında çeşitli kaynaklardan Avrupa'ya ithal edilmektedir. İkincil hammaddeler yerli hurda ve artıklardır [50] [51].

Metal ilk olarak 20. yüzyılın açılış yıllarında ticari olarak kullanılmaya başladığından beri alüminyum geri dönüştürülmüştür ve mevcut tahminler, şu ana kadar üretilen alüminyumun %75'inin hala kullanımda olduğunu göstermektedir [52]. Alüminyum, kalite kaybı olmadan geri dönüştürülebildiğinden sonsuz bir geri dönüşüm materyali olarak kabul edilir. Ayrıca, alüminyum metalini yeni bir külçe haline getirmek, birincil alüminyum üretiminden çok daha az enerji gerektirir. İkincil alüminyumun, maden malzemelerinden birincil üretime kıyasla enerji tüketimi % 5 civarındadır [50]. Sonuç olarak, alüminyumun tekrar eritilmesi hem ekonomik hem de çevresel açıdan avantajlıdır.

Dünyada birincil alüminyum üretimi 2015 yılında 58 milyon tona yaklaşmış ve bunların 3,7 milyon tonu Avrupa'da üretilmiştir [53]. Son yıllarda Çin, küresel pazarı etkileyen en büyük tüketici ve üretici olarak ortaya çıkmıştır. Rusya ve Orta Doğu da önemli alüminyum üreticileri arasında yer almaktadır. İkincil alüminyum üretimi, birincil alüminyumun% 30 - 40'ı arasında değişmekte olup, hurdadan 1,1 – 1,5 milyon ton alüminyum üretimi olmaktadır [50] [54]. AB alüminyum endüstrisi,

yaklaşık 255.000 kişiden oluşan bir işgücünü temsil etmektedir ve yıllık cirosunun 2013 yılında 40.000 milyon Euro civarında olduğu bilinmektedir [50].

3.3.1 Üretim Süreci

İki tür alüminyum üretimi vardır. Birincil alüminyum, alüminaya dönüştürülen boksitten üretilir; 100 ton boksit 40 ila 50 ton alüminyum oksit (alümina) üretir ve bu da yaklaşık 25 ton alüminyum üretebilir. Boksitlerin çoğu Avrupa dışından çıkarılır, ancak Avrupa'da çeşitli alümina üretim tesisleri var. Birincil alüminyum üretim işleminin dört ana basamağı, boksit madenciliği, daha sonra Bayer işlemi kullanılarak alüminin (alüminyum oksit) çıkarılması, birincil-alüminyum üretimi, Hall-Héroult elektrolitik işlemi ve sıvı alüminyumun dökümüdür [50].

İkincil alüminyum üretiminde kullanılan hurda, işlenmiş ve dökme ürünlerin üretimi ve imalatı sırasında oluşansa 'yeni hurda' olarak adlandırılır. Ya da faydalı ömürlerinin sonundaki eşyalardan elde edildiyse "eski hurda" olarak adlandırılabilir. Bunlar teller, kablolar, dövme alaşımlar, döküm alaşımları, kullanılmış içecek kutuları, paketleme ve cüruf (metal, alümina ve diğer malzemelerin karışımı) gibi farklı türlerde alüminyum hurdalarından oluşurlar [54]. Yeni hurdanın geri dönüşüm oranı %100'dür.

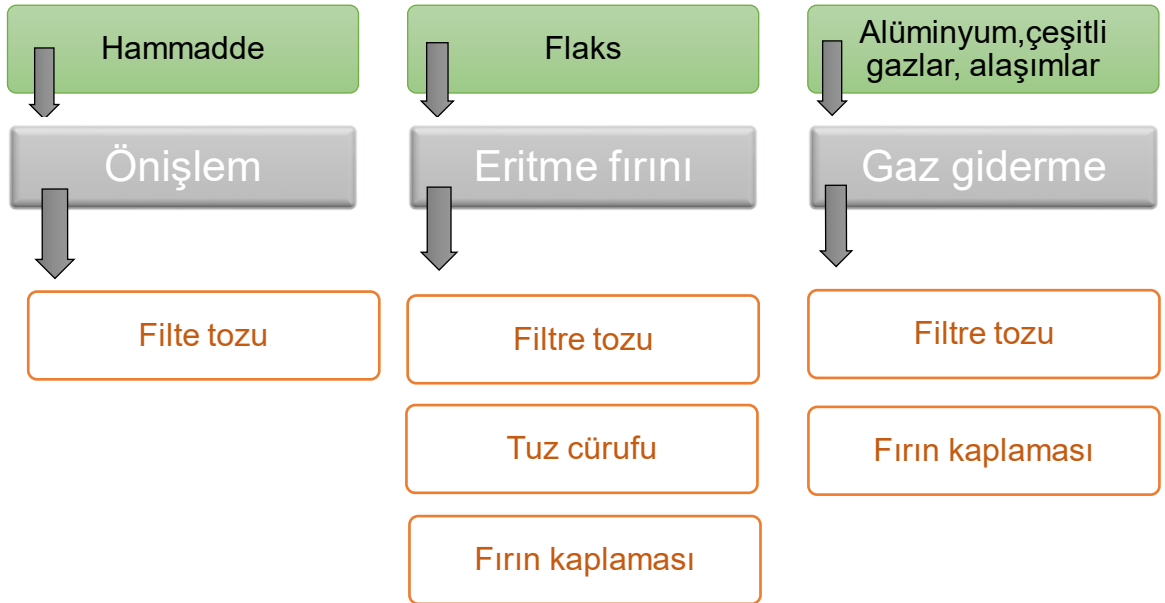
İkincil alüminyum üretiminde metaller ilk önce, alaşım ve dövme alaşım olarak sınıflandırılır. Bunlar sırasıyla sırasıyla oda veya ocak fırınlarında ve döner tambur fırınlarında yeniden eritilir. Üretimin genel adımları aşağıdaki gibidir:

1. Ön arıtma: Enerjiden tasarruf etmek, olası emisyonları azaltmak ve ölçüm oranını iyileştirmek için hurda genellikle eritmeden önce temizlenir, kaplanır, yağdan arındırılır.
2. Şarj etme ve eritme: Çok çeşitli ikincil hammaddelerin eritilmesi için döner fırınlar, ocak fırınları veya hazneler kullanılır. Cüruf oluşumuyla safsızlıkları gidermek için akışkan madde karışımı ilave edilir.

3. Posa: Erime işleminde, alüminyumun kolay ve hızlı oksitlenme özelliğinden dolayı bir oksit tabakası üretilir. Bu katman yüzeyde oluşan cüruf olarak adlandırılır ve dökümden önce çıkarılması gerekir.
4. Gazdan arındırma
5. Erimiş metalin işlenmesi: Metalin eritme fırından çıkarılmasından sonra metal, diğer metalleri ve gazları uzaklaştırmak için tutma fırınında rafine edilir. Magnezyum gibi başka malzemeler de alüminyumda bulunabilir ve mümkün olduğunca çıkarılması veya azaltılması gerekebilir. Metal, klor gibi çeşitli gaz karışımları kullanarak bu safsızlıkları gidermek için muamele edilebilir.
6. Döküm

3.3.2 Atıklar

Uygun arıtma işlemlerinin seçimi, fırın tipi ve diğer gerekli işlem aşamaları (tutma, alaşımlama ve eriyik işleme), öncelikle kullanılan hammaddelerin türüne ve bileşimine ve gereken ürün kalitesine bağlıdır [50]. Üç ana adım da oluşan atıklar Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4 İkincil alüminyum üretiminde ana adımlardaki girdi ve çıktılar

Üretimde oksidasyonu önlemek, verimi ve ısı verimi artırmak için tuz karışımları (flaks) kullanılır. Kullanılacak tuz türlerinin seçimi, hammadde türüne ve fırına bağlıdır. Tuz karışımlarının kullanılması sonucunda, döner fırınlarda tuz cürüfları oluşur. Oluşan bu tuz cürufunun miktarı malzemenin türüne, fırına ve alüminyumun kirlenme derecesine göre değişiklik gösterir.

3.3.2.1 Tuz cürufunun geri dönüştürülmesi

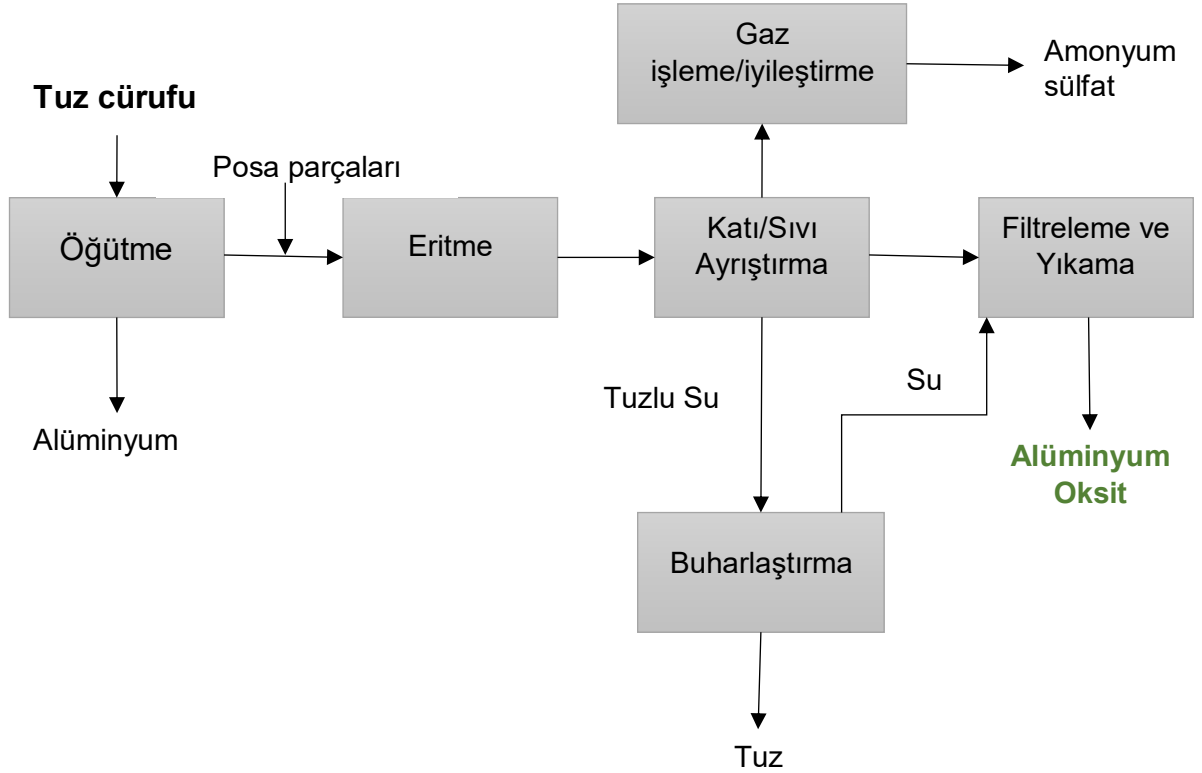
Fırından çıkan tuz akışına tuz cürufu denir. AB-28'deki oluşum oranları, 2014 itibariyle, her yıl bir milyonu bulmaktadır.[50]. Tuz cürufu büyük miktarda alüminyum oksit ve akının erimiş metalden ayırdığı çeşitli safsızlıklar içerir. Toplam tuz cürufunun yalnızca % 4-10'u metalik alüminyumdur.

Tuz cürufu, yıkama ve kristalleştirme işlemleriyle bileşenlerine ayrılabilir. İşlemlerin sonunda geri dönüştürülmüş alüminyum granüller ve tuzlar üretilir ve farklı endüstriler için satılabilir veya kullanılabilir. İki tür geri kazanım işlemi vardır.

1. Kısmi geri kazanım:

- KCl ve alüminyum granüllerinin geri kazanılması ve geri kalanının potasyum atık yığınlarının yeniden kazanılmasında kullanılması,
- Tuz geri kazanımı,
- Artıkları elden çıkarırken elektromanyetik ve mekanik işlemlerle alüminyum ve diğer metalik ürünlerin geri kazanılması.

2. Tam geri kazanım: Bu, mekanik ön arıtım, atık gaz arıtımı (çözülme), katı-sıvı ayırma ve kristalizasyon dâhil olmak üzere farklı fiziko-kimyasal işlem adımlarının bir birleşimidir. Tuz cürufu metalik alüminyum (% 4-10), oksidik bileşenlerin (% 35 - 75) ve alkalin klorürlerin (% 20 - 55) ayrılmasıyla tamamen geri kazanılmaktadır [50]. Şekil 5'de işlem adımları ve girdi-çıktıları verilmiştir



Şekil 5 Tüz cürufunun tam geri kazanım işlemi

3.3.2.2 Alüminyum Oksit Malzeme

Alüminyum tuz cürufu, alüminyum hurdalarının (döner fırında) akıcı tuzla (oksidasyonu önlemek, metal verimini arttırmak ve fırındaki ısı verimi arttırmak için) yeniden eritilmesinden sonra üretilir ve metalik alüminyum ve alüminyum oksitten oluşur. Tuz cürufu% 5-7 artık metalik alüminyum,% 15–30 alüminyum oksit,% 30-55 sodyum klorür ve% 15-30 potasyum klorür içerir ve hurda türüne bağlı olarak karbürler, nitritler, sülfidler ve fosfitler içerebilir [55].

Kompozisyonu ve suyla olası reaksiyonu nedeniyle, alüminyum geri dönüşüm proseslerinden elde edilen tuzlu cüruf, Avrupa Atık Listesinde (ELW) tehlikeli atık olarak sınıflandırılır ve bunun gibi atık depolama alanlarına veya güvenli alanlarda biriktirilmesi gerekir [56],[57].

Öncelikle tuz cürufundaki alüminyum oksitlerin üretim potansiyelini tahmin etmek için ikincil alüminyum üretiminden kaynaklanan tuz cürufu üretimi hesaplanmıştır. Daha sonra, cüruftaki alüminyum oksit oranlarına ve geri kazanım oranlarına dayanarak, alüminyum oksitlerin miktarları elde edilmiştir. Demir Dışı Metal Endüstrisi için BREF, ikincil yoldan çıkan tuz cürufları için 260kg/ton alüminyum olduğunu bildirmektedir [50]. Tam geri kazanma durumunda, alüminyum oksit çıktısı ıslak ürün olarak bir ton cüruf tonu başına 0,46 - 0,68 ton arasındadır [50]. Diğer kaynaklar bu aralığı % 15 - 30 olarak bildirmektedir [55], [56]. Alüminyum oksit içeriğinin, tuz cürufunun% 22,5'i olduğu varsayılmaktadır. Geri kazanım verimi hesaplamalar sırasında ortalama %60 oranında kullanılmıştır.

3.3.2.3 Atık Yönetimi

Tuz cürufu geri kazanım işlemlerinin ardından, Oxiton, Noval, Paval, Serox ve Valoxy gibi farklı marka isimleri altında kullanılmak üzere tedarikçilere ve tesislere alüminyum oksit satılmaktadır [56]. Alüminyum oksitler, çimento klinker, mineral yün, sentetik kalsiyum alüminatlar, seramikler, refrakter malzemeler, aşındırıcılar, cam ve dolgu maddelerinde hammadde olarak kullanılabilir. Plastik endüstrisinde dolgu olarak alüminyum oksitler kullanılmaktadır [34]. Cam üretimi sırasında formülasyonlara dâhil edilirler. Çimento fırınları için uygun ön karışımları hazırlamak için alüminyum oksitler diğer atık maddelerle birlikte harmanlanabilir. Klinker üretiminde kullanılan hammadde malzemeleri dört ana bileşenden oluşur; kireç (CaO), silika (SiO₂), alümina (Al₂O₃) ve demir oksit (Fe₂O₃). Genellikle bu ana bileşenler birincil malzemelerden türetilir, ancak uygun hammadde üretmek için alternatif malzemeler de kullanılabilir [47].

3.4 Çelik Üretimi

Çelik, demir cevherinin kimyasal indirgenmesiyle, entegre bir çelik üretim işlemi veya doğrudan indirgeme işlemi kullanılarak üretilir. Hammadde olarak birçok ticari ürünün veya üretimde kullanılan makinelerin bir parçası olan çelik, endüstri için çok önemlidir. Çelik için ana pazarlar binalar ve altyapı, otomotiv, ulaştırma, enerji, gıda ve su, alet ve makinelerdir. Çelik sektörü yılda 1,6 milyar ton küresel üretime

ulaşmaktadır [58]. Çelik endüstrisi, dünya genelinde 900 milyar USD ciro ile petrol ve gazdan sonra dünyanın en büyük ikinci endüstrisidir.

3.4.1 Üretim Süreci

Çelik üretimi için iki ana rota kullanılmaktadır: Bunlar birincil çelik üretimi ve ikincil çelik üretimidir. Birincil üretim, hammadde (demir) kullanarak yapılan üretimdir ve genelde yüksek fırın (YF) ya da bazik oksijen fırını (BOF) kullanılır. İkincil üretim ise geri dönüştürülmüş çelik hurdasından yapılan üretimdir. Bunun için de elektrik ark ocağı (EAO) kullanılır [59]. Avrupa'da üretilen çeliğin yarısı EAO ile üretilir. 2014 yılı verilerinde bu değer AB-28'de 85 milyon ton çelik olarak verilmiştir [60].

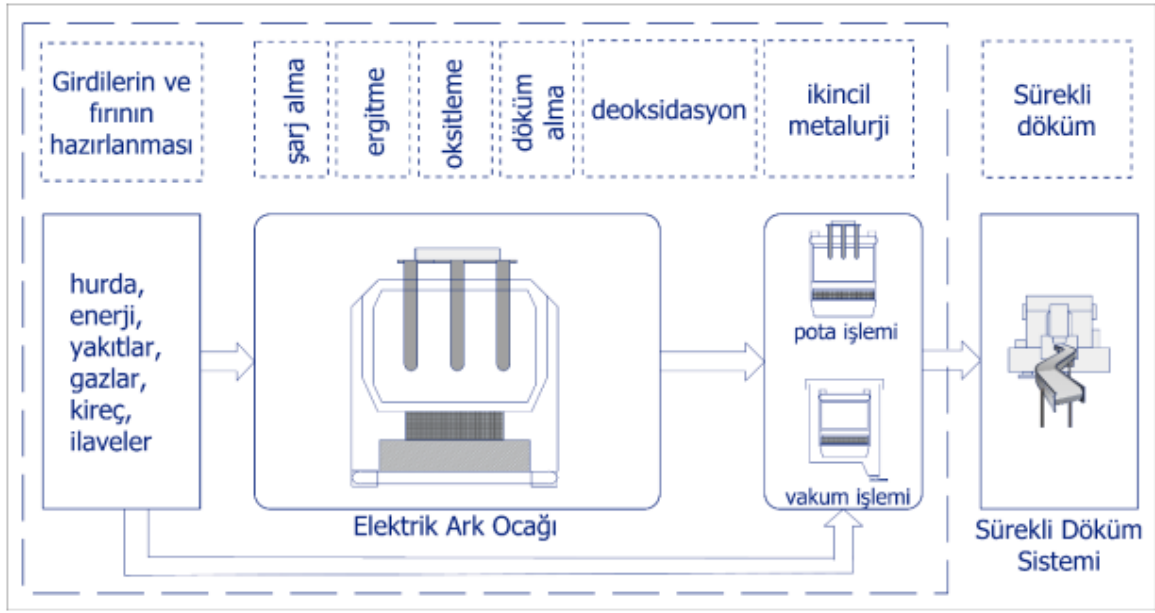
YF/BOF rotasında, ortalama olarak, 1.000 kg ham çelik üretmek için 1.370 kg demir cevheri, 780 kg metalürjik kömür, 270 kg kireçtaşı ve 125 kg geri dönüştürülmüş çelik kullanılmaktadır. EAO rotasında ise, 1.000 kg ham çelik üretmek için 710 kg geri dönüştürülmüş çelik 586 kg demir cevheri, 150 kg kömür ve 88 kg kireçtaşı ve 2.3 GJ elektrik kullanılmaktadır [61].

EAO için ana hammadde, çelik fabrikalarının içindeki hurdalar veya tüketim sonrası oluşan demir hurdasıdır. Doğrudan indirgenmiş demir (Direct reduced iron-DRI), düşük gang (ekonomik yönden değersiz mineraller) içeriği, değişken hurda fiyatları ve istenmeyen metallerin (örneğin Cu) düşük içeriğinden dolayı besleme stoğu olarak giderek daha fazla kullanılmaktadır [59].

EAO rotasına ait temel üretim aşamaları Şekil 6'de sunulmuştur. Üç ana malzeme girdileri vardır:

- Hurda, kireç, kömür ve demir süngeri şeklindeki hammaddeleri
- Metaller, grafit elektrotlar, fırın astarı, atıl gaz ve benzeri alaşımlar
- Su

EAO hattı genel enerji talebinin 400 - 750 kWh / ton sıvı çelik (LS) aralığında olduğu ve elektrik, kömür, gaz, sıvı akaryakıt ve oksijen tüketimi de gerektirmektedir[59].



Şekil 6 EAO ile çelik üretim aşamaları [62]

3.4.2 Atıklar

Fırın cürufu çelik üretiminden elde edilen katı bir üründür. Kullanılan cürufun cinsine, ham madde olarak kullanılan demir metallerin kompozisyonuna (yani saflık derecesinin niteliğine ve tabiatına) ve amaçlanan çelik ürün tipine bağlı olarak bir çelik imalat prosesinde farklı cüruf formları ve kompozisyonları üretilebilir. Daha önce belirtildiği gibi, hem eritme hem de ikincil metalurjik işlemlerden cüruf oluşabilir. Bu çalışma kapsamında, EAO üretimi baz alındığından, EAO ve pota cürufları değerlendirilecektir

EAO cürufu, çok yönlü ve birçok uygulamada agrega olarak kullanım için ideal olan güçlü ve dayanıklı bir malzemedir. Pota cürufu çoğunlukla kalsiyum oksitlerin yanı sıra silika, alüminyum ve magnezyum oksitlerden oluşur. Demir oksit içeriği % 15'ten düşüktür, bu nedenle pota cürufu neredeyse beyaz renktedir [63].

İkisi de tehlikeli olmayan atıklar olarak tanımlanmaktadır. Hatta Belçika'nın Flanders Bölgesi'nde, iki özel uygulama için (beton ve asfalt betonunda kullanım), EAO cürufu atık yerine hammadde statüsündedir [64].

Atık olarak rapor ederken cüruf için uygun girişi seçerken granülasyon, paletleme, köpürme, belirli bir ısıl işlemle bağlantılı uygun katılma ve ayırma, kırma, eleme (eleme), öğütme (öğütme) gibi endüstriyel işlemlerden geçen cüruf dikkate alınmalıdır.

3.4.3 Atık Yönetimi

2010 yılında AB'de çelik cürufu için yapılan uygulamaların oranları Avrupa Cüruf Derneği'nin yayınladığı rapordan elde edilmiş ve Çizelge 5'de pota cürufu için sunulmuştur.

Çizelge 5 Geleneksel üretimde pota cürufunun yönetimi [65] (Miktarlar referansta verilen oranlardan hesaplanarak elde edilmiştir.)

Ülke	Atık miktarı (Kt/yıl)	Bertaraf (Kt/yıl)	Dâhili Kullanım (Kt/yıl)
Belçika	70,96	56,76	14,19
Çek Cumhuriyeti	10,69	8,55	2,14
Almanya	391,25	313,00	78,25
Macaristan	5,58	4,46	1,12
İtalya	515,48	412,38	103,10
İspanya	300,33	240,26	60,07
İsveç	42,93	34,34	8,59
Türkiye	711,96	569,57	142,39
Birleşik Krallık	58,44	46,75	11,69
Avusturya	20,86	16,68	4,17
Bulgaristan	18,00	14,40	3,60
Finlandiya	37,85	30,28	7,57
Fransa	164,70	131,76	32,94
Yunanistan	30,00	24,00	6,00
Lüksemburg	66,00	52,80	13,20
Hollanda	3,78	3,02	0,76
Polonya	105,26	84,21	21,05
Portekiz	63,00	50,40	12,60
Romanya	39,94	31,95	7,99
Slovakya	10,86	8,69	2,17
Slovenya	18,00	14,40	3,60
Genel Toplam	2685,86	2148,69	537,17

Error! Not a valid bookmark self-reference.'da de EAO cürufu için miktarlar yayınlanan rapordaki oranlardan hesaplanarak sunulmuştur. Çelik cürufu için en yüksek değerlendirme potansiyeli yol yapımında kullanımıdır (%48) [65].

Çizelge 6 Geleneksel üretimde EAO cürufunun yönetimi [65] (Miktarlar referansta verilen oranlardan hesaplanarak elde edilmiştir.)

Ülke	Dâhili kullanım-%11 (Kt/yıl)	Yol yapımı -%48 (Kt/yıl)	Çimento Üretimi %6 (Kt/yea r)	Depolama %11 (Kt/yıl)	Hidrolik Müh. (Kt/yea r)	Bertaraf (Kt/yıl)	Gübre (Kt/yıl)	Diğer (Kt/yıl)
Belçika	32,5	141,9	17,7	32,5	8,9	38,4	8,9	17,7
Çek Cumhuriyet	4,9	21,4	2,7	4,9	1,3	5,8	1,3	2,7
Almanya	179,3	782,5	97,8	179,3	48,9	211,9	48,9	97,8
Macaristan	2,6	11,2	1,4	2,6	0,7	3,0	0,7	1,4
İtalya	236,3	1.030,1	128,9	236,3	64,4	279,2	64,4	128,9
İspanya	137,7	600,7	75,1	137,7	37,5	162,7	37,5	75,1
İsveç	19,7	85,9	10,7	19,7	5,4	23,3	5,4	10,7
Türkiye				2488,2		342,2		2,9
Birleşik Krallık	26,8	116,9	14,6	26,8	7,3	31,7	7,3	14,6
Avusturya	9,6	41,7	5,2	9,6	2,6	11,3	2,6	5,2
Bulgaristan	8,3	36,0	4,5	8,3	2,3	9,8	2,3	4,5
Finlandiya	17,4	75,7	9,5	17,4	4,7	20,5	4,7	9,5
Fransa	75,5	329,4	41,2	75,5	20,6	89,2	20,6	41,2
Yunanistan	13,8	60,0	7,5	13,8	3,8	16,3	3,8	7,5
Lüksemburg	30,3	132,0	16,5	30,3	8,3	35,8	8,3	16,5
Hollanda	1,7	7,6	1,0	1,7	0,5	2,1	0,5	1,0
Polonya	48,3	210,5	26,3	48,3	13,2	57,0	13,2	26,3
Portekiz	28,9	126,0	15,8	28,9	7,9	34,1	7,9	15,8
Romanya	18,3	79,9	10,0	18,3	5,0	21,6	5,0	10,0
Slovakya	5,0	21,7	2,7	5,0	1,4	5,9	1,4	2,7
Slovenya	8,3	36,0	4,5	8,3	2,3	9,8	2,3	4,5
Genel Toplam	1.231,0	5.371,7	671,5	1.231,0	335,7	1.454,8	335,7	671,5

3.5 Çimento Üretimi

Çimento ürünleri inşaat sektöründe yoğunlukla kullanılan ürünlerdir. Büyük çimento fabrikaları günde yaklaşık 4.000 ton çimento üretmektedir. Çimento üretimi, yaklaşık 61 bin işin yanı sıra, çimento üretimi ile ilgili 365 bin dolaylı iş sağlamaktadır. 2006 yılında AB'de 356 tesis tarafından 19 milyar Euro değerinde 267,5 milyon ton çimento üretilmiştir [66].

3.5.1 Üretim Süreci

Beton, çok işlevliliği, çalışma kolaylığı ve düşük üretim maliyetleri nedeniyle en önemli yapı malzemelerinden biri olarak kabul edilebilir. Çimento, betonun ana bağlayıcı maddesidir. Esas olarak kalsiyum oksit (CaO), silikon dioksit (SiO₂), alümina (Al₂O₃) ve demir oksit (Fe₂O₃) gibi bileşiklerden oluşur [67]

Çimento üretimi için dört ana işlem yolu vardır; kuru, yarı kuru, yarı ıslak ve ıslak işlemler:

- Kuru işlem: Bu işlemde, ham maddeler öğütülebilir ve akıcı toz şeklinde farin üretmek için kurutulur.
- Yarı-kuru işlem: Kuru farin su ile yarı kuru işlemde topak haline getirilir ve fırından önce bir ızgara ön ısıtıcıya veya fırına beslenir.
- Yarı ıslak işlem: Yarı ıslak işlemde, harç ilk önce filtre preslerinde susuzlaştırılır. Elde edilen filtre çamuru ekstrüzyona tabi tutulur ve daha sonra bir öğütücü ön ısıtıcısına veya doğrudan filtre çamuru kurutucusuna verilir.
- Islak işlem: Hammaddelerin (çoğunlukla yüksek nem içeriğine sahip) pompalanabilir bir harç oluşturmak üzere su içinde öğütülmesi işlemidir. Harç daha sonra doğrudan fırına veya önce bir kurutucuya beslenir.

Proses seçimi, büyük ölçüde, ham maddelerin durumuna göre (kuru veya ıslak) belirlenir. İşlem seçimi, klinker fırınının ne zaman yapıldığı ve sermayenin mevcudiyetine de bağlıdır. Enerji ve çevre mevzuatı, hangi tipin kullanılacağını da

belirler. Dünyadaki klinker üretiminin büyük bir kısmı hala ıslak işlemlere dayanmaktadır. Islak prosesler kullanıldığında, tüm malzemeler, bir fırında veya fırın işleminden bir ısı eşanjörüne sahip bir farin değirmeninde kurutulabilir.

Avrupa'da, üretimin % 90'ından fazlası kuru işleme dayanmaktadır. Bunun nedeni kuru hammaddelerin erişilebilirliği daha fazla olmasının yanı sıra; ıslak işlemlerin daha fazla enerji yoğun olması ve dolayısıyla operasyonel enerji tüketimi dikkate alındığında daha maliyetli olmasıdır [68]. Türkiye'de de tüm çimento fabrikaları 2012'den bu yana kuru işleme çalışmaktadırlar [67].

Avrupa standardı EN 197-1, 5 gruba ayrılmış (CEM I, CEM II, CEM III, CEM IV, CEM V) 27 çimento tipini tanımlar. Klinker her CEM I ve CEM II çimento tipinin ortak bileşeni olsa da, diğer bileşenlerin cinsi ve miktarı çimento tipini belirler. Beton yapımında en çok kullanılan çimento, 1824 yılında patenti alınan "Portland Çimentosu"dur ve CEM-I tipi olarak adlandırılır. En yaygın kullanılması sebebiyle bu çalışmada baz alınacak olan bu çimento tipidir.

Kuru işlemler ile çimento üretiminin ana basamakları aşağıda verilmiştir [68] ve genel akış Şekil 7'de sunulmuştur.

1. Kırma/Hammadde öğütme: Hammaddeler birincil / ikincil kırıcılara taşınır ve 10 cm büyüklüğünde parçalar halinde öğütülür.
2. Ön Homojenizasyon ve Farin Üretimi: Ön homojenizasyon sürecinde, gerekli kimyasal bileşimi korumak için farklı hammaddeler karıştırılır. Ezilmiş parçalar daha sonra "farin" üretmek için birlikte öğütülür.
3. Ön Isıtma: Farinin birkaç kademe ısıtma işleminden geçirilmesidir. Kademe sayısı, hammadde nem içeriğine göre belirlenir.
4. Ön Kalsinasyon: Kalsinasyon, kireçtaşının kirece ayrışmasıdır. Bu aşamada önemli miktarda CO₂ salınır. Burada, kireçtaşının kimyasal ayrışması tipik olarak toplam emisyonların % 60-65'ini yayar. Reaksiyonun bir kısmı, ön ısıtıcının altında

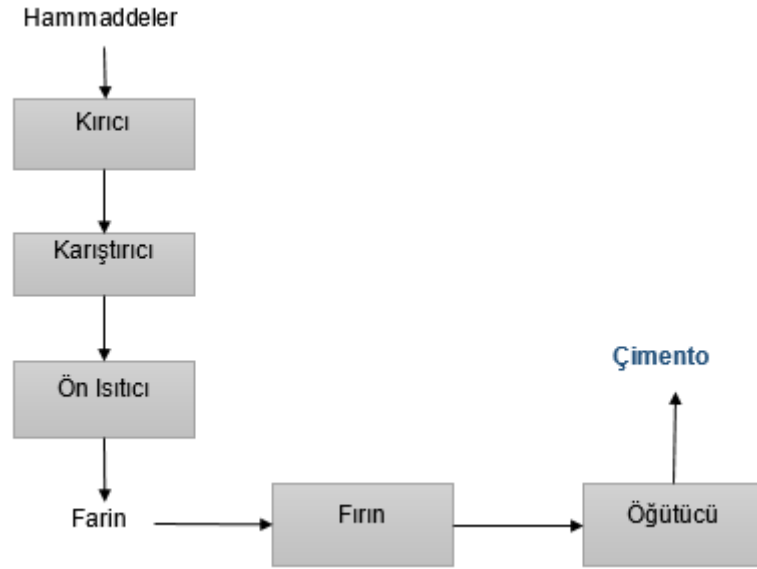
fırın üstündeki bir yanma odası olan "ön kalsinatör"de ve fırının bir kısmında gerçekleşir.

5. Klinker Üretimi: Yakıt, 1450°C sıcaklıklara ulaşmak için doğrudan döner fırına beslenir. Fırın dakikada yaklaşık 3-5 kez döndükçe, malzeme kademeli olarak daha sıcak olan bölgelerden aleve doğru ilerler ve aşağıya doğru fırlar. Üretilen ısı, farını kısmen klinkerde eriten kimyasal ve fiziksel reaksiyonlara neden olur. CEMBUREAU tarafından yayınlanan verilere göre, çimento üretimindeki CO₂ emisyonlarının yaklaşık % 54'ü, fırında kireçtaşının yanmasından kaynaklanır. Bunu % 34 ile fırında tüketilen enerji safhası izler ve ardından da % 12'lik pay ile gelir klinkerin çimento için öğütülmesi gelir.

6. Soğutma ve Saklama: Sıcak klinker fırında yanma havasıyla hızlı bir şekilde soğutulduğu ızgaralı soğutucunun üzerine düşer.

7. Karıştırma: Bu işlemde klinker diğer mineral bileşenlerle karıştırılır. Hemen hemen tüm çimento tipleri, ürünün ayar süresini kontrol etmek için yaklaşık % 4-5 alçıtaşı içerir.

8. Çimento Öğütme: Soğutulmuş klinker ve alçı karışımı, Sıradan Portland Çimentosu (Ordinary Portland Cement-OPC) olarak adlandırılan gri bir toz halinde öğütülür. Çimento, diğer mineral bileşenlerle öğütülürse, "harmanlanmış çimento" olarak kabul edilir. Geleneksel olarak bilyalı değirmenler öğütme için kullanılır ancak merdane presleri ve dikey değirmenler gibi daha verimli teknolojiler bugün birçok modern tesiste kullanılmaktadır [69].



Şekil 7 Geleneksel Portland çimentosu üretim prosesi

3.6 Beton Üretimi

İnşaat sektörünün büyümesiyle hazır beton kullanımı da gittikçe artmaktadır. 2017 yılında AB'nin beton üretim miktarı 235,2 milyon m³, Türkiye'de 115 milyon m³ beton üretilmektedir [70]. Sırasıyla Türkiye, Almanya ve Fransa en yüksek üretimi yapan ülkelerdir.

3.6.1 Üretim Süreci

Beton, zamanla sertleşen bir akışkan çimento ile birbirine bağlanmış kalın ve ince agregadan oluşan kompozit bir malzemedir. Kullanılan betonların, Portland çimentosu betonu gibi, çoğu kireç bazlı betonlardır.

Portland çimentosu betonunda (ve diğer hidrolik çimento betonlarında), agrega kuru çimento ve suyla birlikte karıştırıldığında, kolayca şekillendirilebilecek bir sıvı kütlesi oluştururlar. Çimento, tüm malzemeleri bir araya getiren, taş kullanan bir malzemeye pek çok kullanımda bağlanan sert bir temel oluşturmak için su ve diğer bileşenlerle kimyasal olarak reaksiyona girer. Genellikle, puzolanlar gibi mineral katkıları veya süper akışkanlaştırıcılar gibi kimyasal katkıları, taze betonun işlenebilirliğini ve nihai ürünün dayanıklılığını arttırmak için karışıma dâhil edilir.

Altyapıların veya üst yapıların yük taşıyan kısımları için, takviye edici malzemeler arasında beton bir çelik çerçeve ya da gerilme mukavemeti sağlamak üzere gömülü birleştirme çubukları arasına beton dökülerek betonarme beton dökülür. Bugün, büyük beton yapılar, yani barajlar ve çok katlı otoparklar betonarme olarak yapılmıştır.

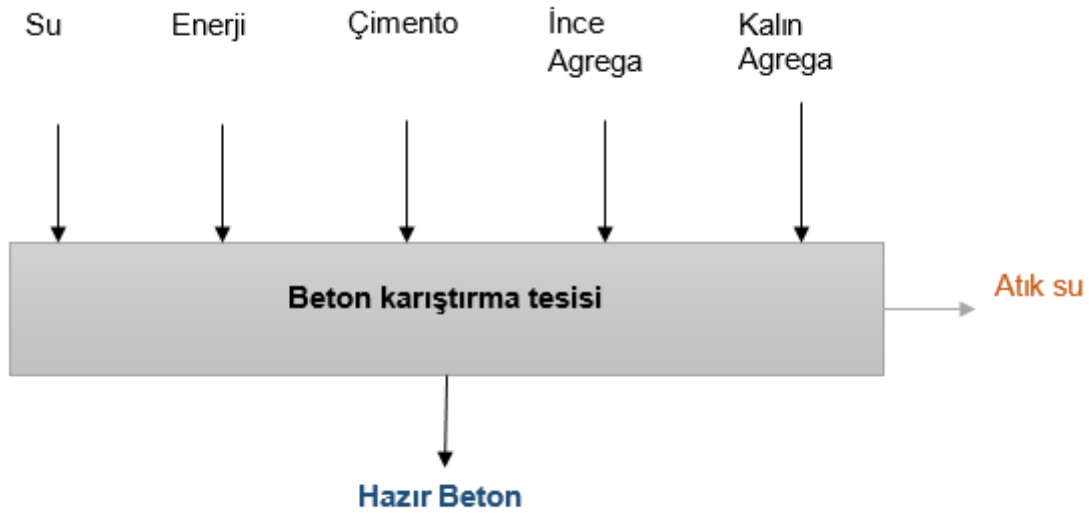
İnşaat işinin ihtiyaçlarına göre, aşağıdaki ana bileşenlerin oranlarını değiştirerek yaratılan birçok tür beton vardır. Bu şekilde veya çimento ve agrega ikameleriyle bitmiş ürün, değişken işlenebilirlik, kimyasal ve termal direnç gibi dayanıklılık özellikleri olan uygulamalarına göre uyarlanabilir.

- **Agrega**, bir beton karışımındaki büyük malzeme parçalarından, genellikle kalın olan çakıl, kalker veya granit gibi kırılmış kayaların yanı sıra kum gibi daha ince malzemelerden de oluşur. Temel olarak ince ve kaba olmak üzere iki farklı agrega boyutu vardır. Bir agreganın tanecik ebadı dağılımı/derecelemesi, betonun dayanıklılık, gözeneklilik, işlenebilirlik, çimento/su gereksinimleri, betonun dayanımı ve büzülmesi açısından en etkili özelliklerinden biridir.
- **Çimento**, betondaki agrega taneleri için bağlayıcı madde görevi görür. En yaygın kullanılan çimento tipleri Portland Çimento ve Portland Karışımli Çimento'dur. İnce kül ve yüksek fırın cürufu gibi diğer çimentolu malzemeler bazen mineral katkıları olarak eklenir. Bunlar ya çimento ile önceden harmanlanmış ya da doğrudan beton için bir bileşen olarak yine agrega için bağlayıcı bir hale gelir.
- **Su**, kuru toz ve agrega ile karıştırılır. Hem karışımına akışkanlığını sağlamak hem de çimentonun kimyasal reaksiyonunu sağlamak için su kullanımı gereklidir.
- **Kimyasal katkıları**, çoğunlukla sıvı formdadırlar ve çeşitli özellikler elde etmek için eklenirler. Kimyasal katkıları (süperplastikleştiriciler, hiperplastikleştiriciler, süperakışkanlaştırıcıları olarak anılırlar.) ana kullanım alanı, taze betonun kıvamını değiştirmektedir. Bu, daha az su kullanımı ve böylece daha düşük geçirgenlik ve daha yüksek dayanıklılık sağlar. Diğer kimyasal katkıları, hidrasyon hızını hızlandırır veya yavaşlatır ve artan çekme

mukavemeti, havanın sürüklenmesi ve / veya su direnci dâhil olmak üzere birçok faydalı özellik sağlar.

- **Takviye**: Betonun basınç direnci agregalar ile artırılabilir. Ancak gerilme dayanımını arttırmış olmaz. O nedenle kafes yapıda güçlü takviye çubukları kullanılır.
- **Mineral katkıları**ın kullanımı beton üretiminde son yıllarda yaygınlaşmıştır. Farklı endüstrilerin üretimleri sonucu oluşan cürufaları, toz ve külleri sıkılaştıran çevre mevzuatları nedeniyle kullanıma alınmaya başlanmıştır.

Özetle, beton üretimi, beton üretmek için çeşitli bileşenleri (su, agrega, çimento ve diğer katkı maddeleri) bir araya getirme işlemidir (Şekil 8). Beton üretimi zamana duyarlı bir üretimdir.



Şekil 8 Geleneksel beton üretim süreci

3.7 Bölüm Sonucu

Bu bölümde, ilgili sektörlerin üretim süreçleri incelenmiştir. Geleneksel üretim süreçlerinde oluşan atıklar, atık içerikleri ve bu atıkların yönetimi değerlendirilmiştir.

Söz konusu atıklar; seramik üretimde, tuğla ve kiremit üretim sürecinde oluşan kalsine kil atığı, ikincil alüminyum üretiminden oluşan tuz cürufu ve bundan elde edilen alüminyum oksit malzemesi, çelik üretiminden oluşan EAO cürufu ve pota cürufu, inşaat yapım ve yıkımından oluşan cam atıklarıdır. Bu adımdan sonra Bölüm 4.1’de, bu bölümde anlatılan bilgiler detaylandırılarak, atıkların oluşum miktarları ve gelecek eğilimleri belirlenecektir. Bu bölümde yer alan atıkların oluştuğu süreçler, Bölüm 4.3’teki senaryoların oluşturulmasında kullanılmıştır. Atık yönetim miktarları ise, çalışma sonuçlarını mevcut işleyişle karşılaştırmak için baz oluşturmuştur.

4 METODOLOJİ ve VERİ KAYNAKLARI

Çalışmanın genel metodolojisindeki temel adımlar aşağıdaki gibidir. Çalışmanın akış şeması Şekil 9'de sunulmuştur. Çalışmanın detayları alt başlıklar halinde verilmiştir.

1. Veri (Çevresel, Ekonomik ve Teknik) Toplanması ve Analizi

- Giriş bölümünde bahsedilen sektörlerin detaylı olarak incelenerek; üretimlerinin, atıklarının değerlendirilmesi ve gelecekte oluşacak atık oluşum eğilimlerinin belirlenmesi.
- Çeşitli kaynaklardan yararlanılarak bu sektörlerin üretim girdisi olarak atık kullanabilme potansiyellerinin incelenmesi

2. Sistemin Tasarımı

- Atık verecek ve atık kullanacak sektörler için bir organize sanayi bölgesi kurgulanması ve böylece çalışılacak sistem sınırının belirlenmesi

3. Akış Senaryolarının Oluşturulması ve Maliyetlendirilmesi

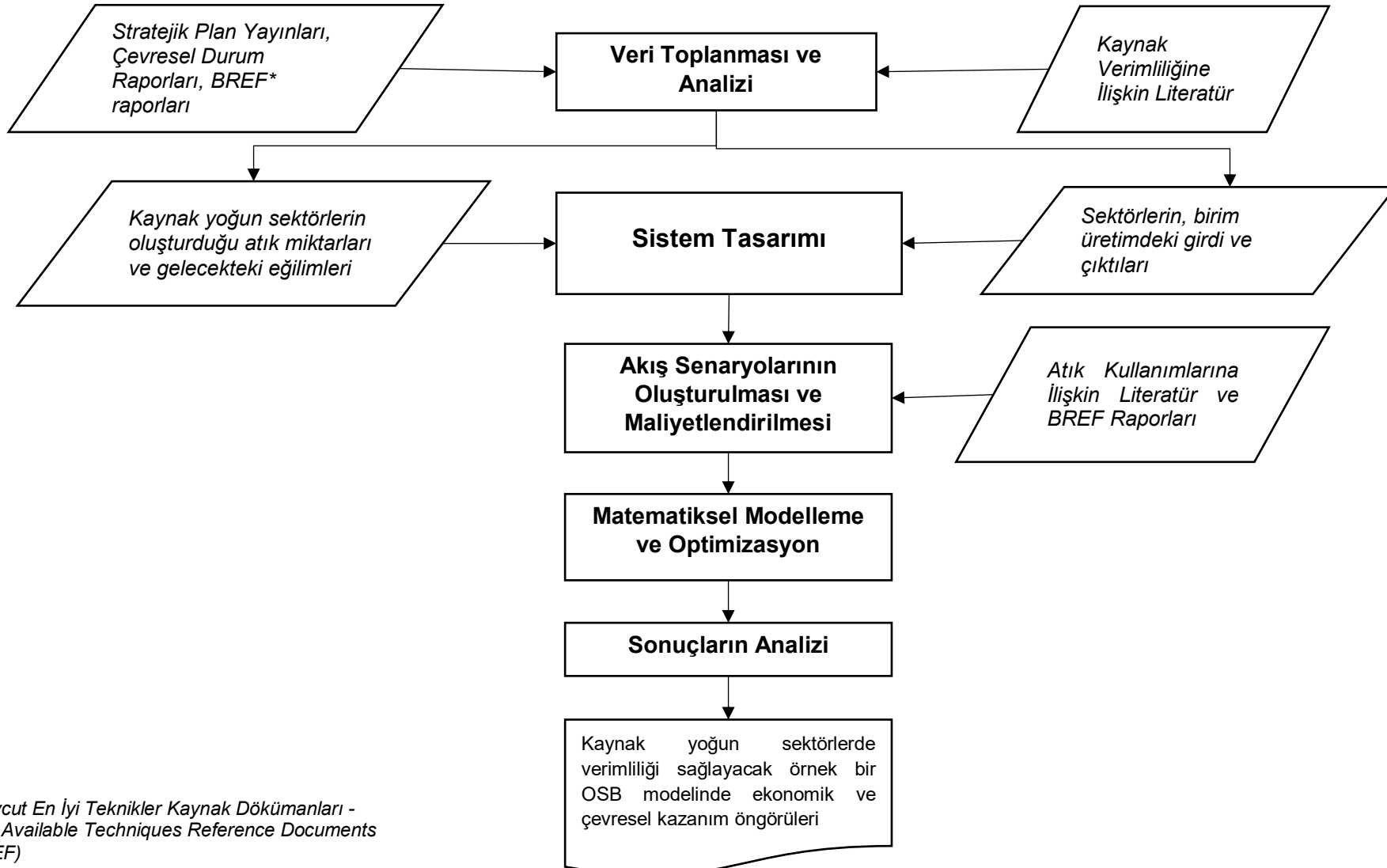
- Seçilen sektörlerin mevcut/geleneksel üretimlerinin kütle denklikleri dikkate alınarak akışların baz alınan fonksiyonel birime göre maliyetlendirilmesi
- Verilerin değerlendirilmesiyle edinilen bilgilere göre yine kütle denklikleri ve girdilerin kimyasal özellikleri baz alınarak potansiyel olarak atık kullanabilecek sektörler arası akış senaryolarının oluşturulması ve bu akışın maliyetlendirilmesi

4. Matematiksel Modelleme ve Optimizasyon

- Senaryoların matematiksel modellenerek, sektörler arasındaki akışların doğrusal programlama ile optimizasyonu

5. Sonuçların Analizi

- Optimal üretim miktarları hesaplanan senaryoların çevresel ve ekonomik kazanımlarının belirlenmesi



*Mevcut En İyi Teknikler Kaynak Dökümanları - Best Available Techniques Reference Documents (BREF)

Şekil 9 Çalışma metodolojisi

4.1 Veri Toplanması ve Analizi

Çalışmanın ilk aşamasında, kaynak verimliliğine ilişkin bir araştırma yapılmıştır. Özellikle Avrupa'da yayınlanan stratejik planlar ve mevcut çevresel durum raporları incelenmiştir. Burada daha önceki bölümlerde de anlatıldığı üzere kaynak yoğun sektörlere önemli bir vurgu olduğu ve iyileştirme planlarında bunlara öncelik verildiği görülmüştür. Böylelikle araştırmanın yönü bu sektörlere çevrilmiş ve bunların üretim süreçleri incelenmiştir.

Bu sektörlerin yıllık üretimleri, oluşan atıklarının tür ve miktar bilgileri yayınlanan çeşitli kaynaklardan temin edilmiştir. Bu çalışmada, incelenen süreçlerin sonucunda oluşan atık miktarlarının belirlenmesinde iki yol izlenmiştir:

1. Dolaysız (direkt) olarak elde edilen veri: Kaynaklarda yayınlanan miktarlar
2. Dolaylı olarak elde edilen veri: Atık oluşum oranları kullanılarak belirlenen miktarlar.

Atık oluşum oranları, bir üretim prosesi sonucu oluşan atık miktarını son ürün veya hammadde miktarına bağlayan katsayılar olarak tanımlanabilir. Örneğin, "üretilen her 1 ton çelik için oluşan pota fırını cürufu 30-40 kg'dır" bilgisi bir atık oluşum oranı vermektedir. Buradan hareketle bu atığın bir yılda ne kadar oluştuğu veya yine üretim bilgisine dayanarak hangi ülkelerde ne kadar oluştuğu bilgisine erişilmiştir. Burada tesise özgü uygulamalar nedeniyle atık üretiminde farklılıklar olabilmektedir. Bunların da göz ardı edilmemesi adına, miktarlar tespit edilirken tek bir oran yerine minimum ve maksimum oranlar alınarak ortalama değerler kullanılmıştır.

Buradaki endüstriyel süreçlerin girdileri ve çıktıları, atık oluşum oranları, kapasitelerinin coğrafik dağılımları, atıkların işlenmesi (idaresi), ve gelecek eğilimleri hakkında gereken bilgilerin toplanabilmesi için çeşitli kaynaklardan faydalanılmıştır. Bu çalışmanın kapsamına giren sektörlerinin endüstriyel kapasiteleri veya üretim hacimleri için, çoğunlukla Avrupa veya küresel üretici dernekleri ve sanayi temsilcileri tarafından yayımlanan dökümanlardan yararlanılmıştır. Atık oluşum katsayıları Avrupa Komisyonu tarafından Endüstriyel Emisyon Direktifi (IED-The

Industrial Emission Directive) kapsamında yayınlanan, “BAT- Best Best Available Techniques” olarak da adlandırılan, Mevcut En İyi Teknikler Kaynak Dökümanları’ndan -Best Available Techniques Reference Documents (BREFs) elde edilmiştir. Bunlara ek olarak, atık işlem uygulamalarının tanımlanması, maliyet ve sektörel tanımlamalar için hakemli dergi makaleleri ve gri literatür (teknik raporlar, pazar araştırma raporları, konferans dökümanları, tezler, vb.) , en çok kullanılan bilgi kaynakları olmuştur.

Avrupa atık yönetimi stratejilerinde iyileştirilmeleri hedeflenen sektörler detaylı olarak incelenmiştir. Çalışma kapsamında yer alacak olan ve kayda değer atık oluşturan sektörler ve bunların atıkları Çizelge 7’deki gibi belirlenmiştir. **Bunlar çalışma kapsamına “atık veren sektörler” olarak dâhil edilmiştir.**

Çizelge 7 İlgili sektörler ve atıkları

Sektör	Proses	Atık
Çelik	Elektrik ark ocağı ve Pota fırını	Elektrik ark ocağı (EAO:Electric arc furnace-EAF) cürufu ve pota fırını cürufu (Ladle furnace-LF)
Alüminyum	İkincil Alüminyum Üretimi	Tuz cürufu*
Seramik	Seramik fayans üretimi	Kalsine kil
İnşaat ve Yıkım	İnşaat/yıkım işlemleri	Beton, tuğla, fayans, alçı taşı, ahşap, cam**, metal, plastik

*Bu çalışmada tuz cürufunun geri dönüştürülmesiyle elde edilen alüminyum oksit kullanılacaktır.

**Bu çalışmada yalnızca ayrıştırılmış/geri dönüştürülmüş cam kullanılacaktır.

Yukarda bahsedilen atık oluşum oranları da bu sektörler için Çizelge 8’deki gibi özetlenmiştir.

Çizelge 8 Atık oluşum oranları

Sektör	Atık	İkincil Hammadde	Atık Oluşum Oranı	Kaynak
Çelik	EAO cürufu	EAO cürufu	125 kg/ton çelik	[59]
	Pota Cürufu	Pota Cürufu	30 kg/ton çelik	[59]
Alüminyum	Tuz cürufu	Al ₂ O ₃	0.156 ton/ton alüminyum	[50]
Seramik	Kalsine Kil	Kalsine Kil	1kg/m ² seramik fayans-tuğla	[71]
İnşaat ve Yıkım	Kompleks Atık	Cam	0.005 ton/ton inşaat ve yıkım atığı	_*

*Atık miktarlarından hesaplandı

Çalışmanın bu aşamasında iki temel çıktı oluşmuştur:

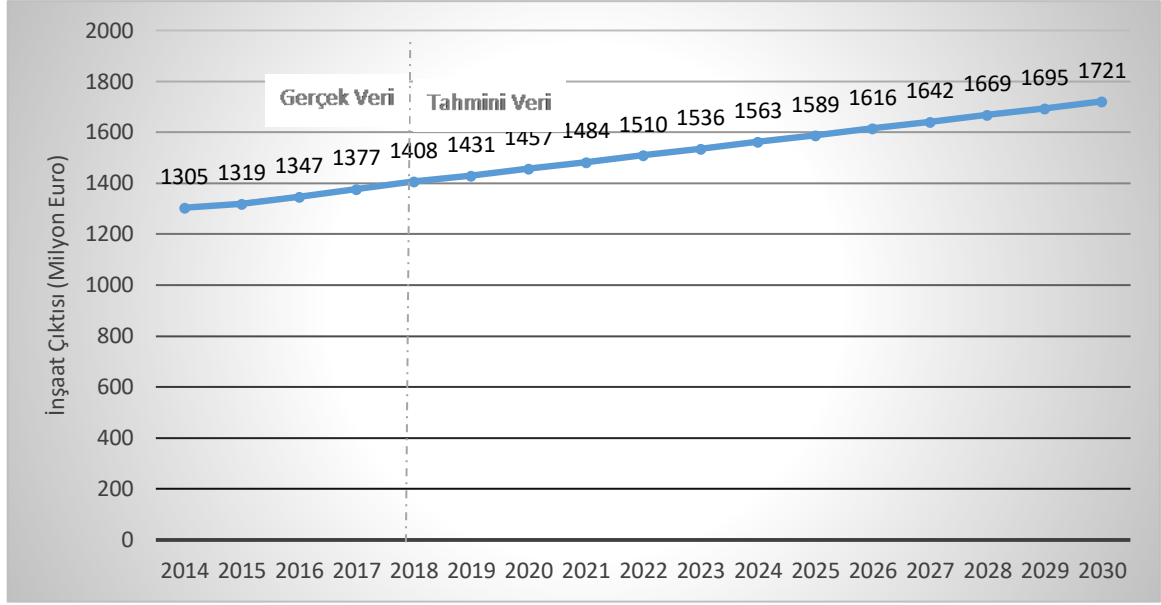
1. Sektörlerin atık miktarları (Ek 1) ve gelecekteki eğilimleri
2. Atık kullanma potansiyeli olan sektörlerin geleneksel üretim süreçlerinde fonksiyonel birim bazında girdi ve çıktı tabloları ve ES potansiyelleri

4.1.1 Sektörlerin Atık Miktarları Ve Gelecekteki Eğilimleri

Bu bölümde çalışmaya dâhil edilmesi planlanan sektörlerin gelecek yıllardaki üretim eğilimleri incelenmiştir. Buna göre oluşacak atıkların da miktarları gözlenmiştir. Bu çalışmanın yapılmasının sebebi, birbirleri arasında simbiyotik ağ oluşturacak sektörlerin bu ilişkiyi üretim ve atık kullanım miktarları bakımından sürdürülebilir olarak yapıp yapılamayacağı konusunda bir öngörü edinebilmektir.

4.1.1.1 İnşaat Sektörü Trend Analizi

Son gelişmeler, yakın gelecek için inşaat sektörü konusunda olumlu bir görünüm sunuyor. 2014'ten bu yana, neredeyse tüm AB ülkeleri için Gayrisafi Yurtiçi hâsıla (GSYH) büyümektedir. Avrupa inşaat pazarının geleceğinde yılda % 3'lere varan büyüme görünmektedir [72].Şekil 10'da referans kaynaktan faydalanılarak yıllara göre büyüme verilerine göre yapılan trend analiziyle gelecekteki eğilim sunulmuştur.



Şekil 10 Avrupa inşaat sektöründe gelecekteki eğilim [72]

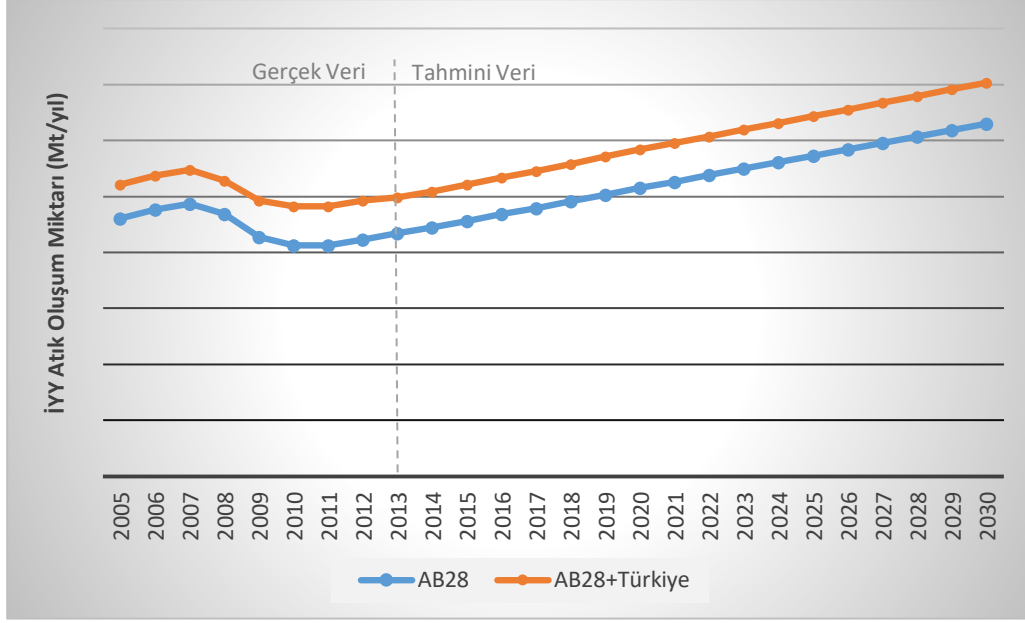
4.1.1.1.1 İnşaat Sektörü Atık Miktarları

AB'deki en büyük hammadde tüketicisi olan sektör inşaat sektörüdür. AB-27'de (EU-27) yılda yaklaşık 530 milyon ton İYY atığı oluşmaktadır. Bunun% 46'sı yeniden kullanılmakta veya geri dönüştürülmektedir [44]. Türkiye verilerine dâhil edildiğinde toplam atık üretimi yaklaşık 600 milyon ton / yıl olarak hesaplanmaktadır Çizelge 9'da ülkelere göre oluşan İYY atık miktarları sunulmuştur.

Çizelge 9 Avrupa ülkelerinde ve Türkiye’de oluşan toplam İYY atık miktarı [44]

Ülke	Toplam İYY Atık Miktarı (Mt/yıl)
Belçika	11,02
Çek Cumhuriyeti	14,70
Almanya	72,40
Macaristan	10,12
İtalya	46,31
İspanya	31,34
İsveç	10,23
Türkiye	68,64
Birleşik Krallık	99,10
Avusturya	6,60
Bulgaristan	7,80
Kıbrıs	0,73
Danimarka	5,27
Estonya	1,51
Finlandiya	5,21
Fransa	85,65
Yunanistan	11,04
İrlanda	2,54
Letonya	2,32
Litvanya	3,45
Lüksemburg	0,67
Malta	0,80
Hollanda	23,90
Polonya	38,19
Portekiz	11,42
Romanya	21,71
Slovakya	5,38
Slovenya	2,00
Genel Toplam	600,05

AB-28 ve Türkiye için gelecekteki İYY atık oluşumu tahminleri, yeni inşaatlarda tadilat ve yıkım oranları varsayımlarına göre yapılmıştır. Şekil 11’de trend analizi yapılarak belirlenen değerler sunulmaktadır. **Ekonomik krize bağlı olarak 2008, 2009 ve 2010 yıllarında hafif bir düşüşle birlikte, yıkım oranı yıllık %0,1’dir.** 2009-2011 döneminde artarak yenilemelerden dolayı bu oran yıllık% 1,2’dir. Daha katı enerji verimliliği hedefleri nedeniyle İYY atıklarının %25’i, yıkım işlemlerinden, %60’ı yenileme; %15’i ise yeni inşaatlardan kaynaklanmaktadır [44].



Şekil 11 İYY Atık oluşumunda gelecekteki eğilim [44].

İYY atığı içeriğindeki atık miktarları Çizelge 3'e göre hesaplanmış, Çizelge 10'da sunulmuştur. Fakat seramik atığı Çizelge 3'te açıkça gösterilmemiştir. Bu nedenle hesaplamalarda, "duvar malzemeleri" ve "diğer mineral atıkların" toplamı olarak alınmıştır. Aynı şekilde cam oranı da verilmediğinden, 'Glass For Europe' dökümanında Avrupa için belirtilen % 1'den daha az olduğu bilgisi ve 'AGC Cam'ın incelemesine göre belirlenen % 0,66 oranı dikkate alınarak %0.05'lik bir değer üzerinden hesaplama yapılmıştır. [73] [74] Genel olarak, minimum ve maksimum verilen değerler için ortalama hesaplanmıştır.

Çizelge 10 İYY atık içerikleri miktarları [44]

	İYY Atığı	Plastik	Cam	Seramik	Beton	Ahşap
	(Kt/yıl)	(Kt/yıl)	(Kt/yıl)	(Kt/yıl)	(Kt/yıl)	(Kt/yıl)
Belçika	11.020	115,71	55,10	4.022,30	2.865,00	330,60
Çek Cumhuriyeti	14.700	154,35	73,50	5.365,50	3.822,00	441,00
Almanya	72.400	760,20	362,00	26.426,00	18.824,00	2.172,00
Macaristan	10.120	106,26	50,60	3.693,80	2.631,00	303,60
İtalya	46.310	486,26	231,55	16.903,15	12.040,50	1.389,30
İspanya	31.340	329,07	156,70	11.439,10	8.148,50	940,20
İsveç	10.230	107,42	51,15	3.733,95	2.660,00	306,90
Türkiye	68.640	720,72	343,20	25.053,60	17.846,50	2.059,20
Birleşik Krallık	99.100	1.040,55	495,50	36.171,50	25.766,00	2.973,00
Avusturya	6.600	69,30	33,00	2.409,00	1.716,00	198,00
Bulgaristan	7.800	81,90	39,00	2.847,00	2.028,00	234,00
Kıbrıs	730,00	7,67	3,65	266,45	190,00	21,90
Danimarka	5.270	55,34	26,35	1.923,55	1.370,00	158,10
Estonya	1.510	15,86	7,55	551,15	392,50	45,30
Finlandiya	5.210	54,71	26,05	1.901,65	1.354,50	156,30
Fransa	85.650	899,33	428,25	31.262,25	22.269,00	2.569,50
Yunanistan	11.040	115,92	55,20	4.029,60	2.870,50	331,20
İrlanda	2.540	26,67	12,70	927,10	660,50	76,20
Letonya	2.320	24,36	11,60	846,80	603,00	69,60
Litvanya	3.450	36,23	17,25	1.259,25	207,69	103,50
Lüksemburg	670,00	7,04	3,35	244,55	174,00	20,10
Hollanda	23.900	250,95	119,50	8.723,50	4.781,43	717,00
Polonya	38.190	401,00	190,95	13.939,35	2.299,14	1.145,70
Portekiz	11.420	119,91	57,10	4.168,30	2.969,00	342,60
Romanya	21.710	227,96	108,55	7.924,15	5.644,50	651,30
Slovakya	5.380	56,49	26,90	1.963,70	1.399,00	161,40
Slovenya	2.000	21,00	10,00	730,00	520,00	60,00
GENEL TOPLAM	600.050	6.300,53	3.000,25	219.018,25	156.013,00	18.001,50

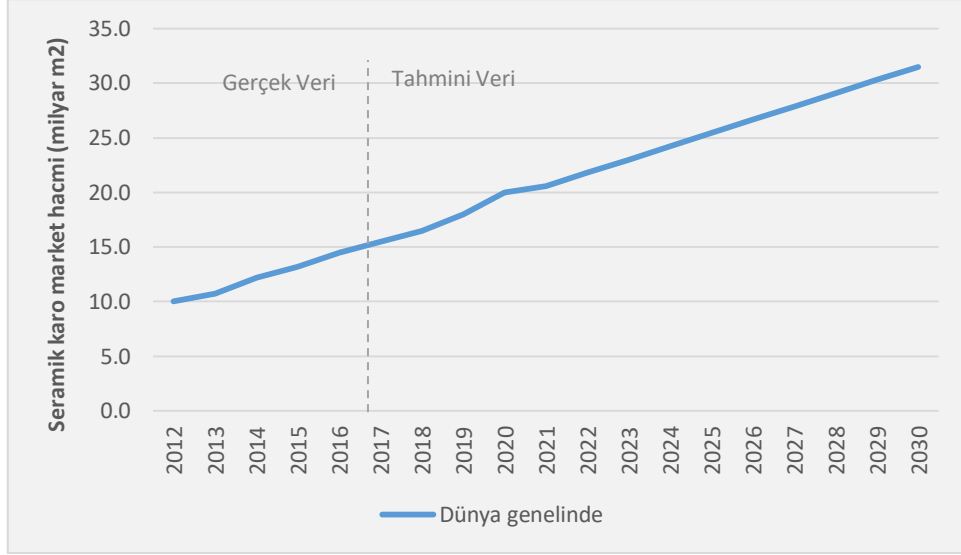
4.1.1.2 Seramik Sektörü Trend Analizi

AB seramik endüstrisi, benzer paylara sahip en büyük seramik ürünleri üreticisi olarak ortaya çıkan İtalya ve İspanya tarafından yönlendirilmektedir (2011'de sırasıyla% 34 ve% 33). İtalya, 2011 yılında 400 milyon m² seramik karo üretmiştir. Daha az üretim hacmine sahip diğer önemli üreticiler, pazar payının yaklaşık % 20'sine sahip olan Polonya, Almanya ve Portekiz'dir. AB içinde, seramik üreticileri çoğunlukla seramik karoların% 80'inden fazlasını üreten KOBİ'lerdir [75].Avrupa ülkeleri ve Türkiye'deki üretim miktarları Çizelge 11'de sunulmuştur.

Çizelge 11 Ülkelere göre seramik üretim miktarı [76]

Ülke	Üretim kapasitesi (milyon m ² /yıl)
Belçika	4,00
Çek Cumhuriyeti	30,00
Almanya	57,00
Macaristan	21,70
İtalya	368,00
İspanya	324,00
İsveç	1,00
Türkiye	205,00
Birleşik Krallık	8,80
Avusturya	1,00
Bulgaristan	22,50
Danimarka	0,90
Estonya	0,90
Finlandiya	1,00
Fransa	29,20
Yunanistan	9,60
İrlanda	1,30
Letonya	0,80
Litvanya	3,60
Hollanda	10,20
Polonya	113,00
Portekiz	63,00
Romanya	13,80
Slovakya	11,50
Slovenya	8,50
Genel Toplam	1310,3

Şekil 12’de 2018’e kadar olan yıllık veriler üzerinden trend analizi yapılarak gelecekteki eğilim gösterilmiştir. Avrupa ‘da seramik üretimi, Dünya geneline göre stabil bir eğilim gösterse de diğer ülkelerde gitgide artan bir pazar hacmi söz konusudur



Şekil 12 Seramik karolar için pazar hacmi [77]

4.1.1.2.1 Seramik Atık Miktarları

Uluslararası Finans Kurumu (International Finance Corporation-IFC)'nin yayınladığı sektör raporunda söz konusu atık için verilen oluşum oranı m² ürün başına 0,7 - 1,3 kg'dır [71]. Seramik kaplama malzemeleri için m² cinsinden kapasite değerleri sektörel bir sunumdan elde edilmiştir ve 2009 verilerine aittir [76]. Çizelge 12’de verilen sonuçlar, ortalama değer olan 1kg/ m² baz alınarak hesaplanmıştır.

Çizelge 12 Ülkelere göre kalsine kil atık miktarı

Ülke	Kalsine kil atık miktarı (kt/yıl)
Belçika	4,00
Çek Cumhuriyeti	30,00
Almanya	57,00
Macaristan	21,70
İtalya	368,00
İspanya	324,00
İsveç	1,00
Türkiye	205,00
Birleşik Krallık	8,80
Avusturya	1,00
Bulgaristan	22,50
Danimarka	0,90
Estonya	0,90
Finlandiya	1,00
Fransa	29,20
Yunanistan	9,60
İrlanda	1,30
Letonya	0,80
Litvanya	3,60
Hollanda	10,20
Polonya	113,00
Portekiz	63,00
Romanya	13,80
Slovakya	11,50
Slovenya	8,50
Genel Toplam	1310,30

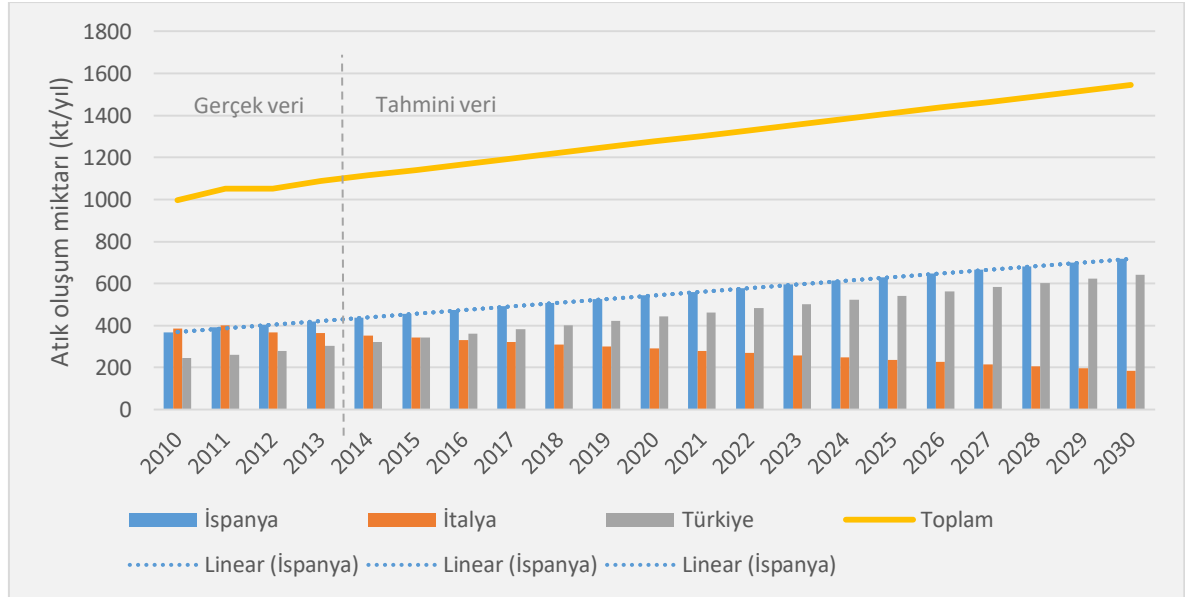
2009 verilerine göre, Avrupa (Türkiye dâhil) 1,3 milyar m² seramik tuğla ve karo üretmiştir. Sonuç olarak, 2009 yılında 0,9 - 1,7 milyon ton kalsine kil atık oluşmuştur. İtalya, İspanya ve Polonya en yüksek seramik üreticileri olduğundan, en yüksek atık miktarlarına da sahip olan ülkelerdir. Aynı zamanda Türkiye de 205 milyon m² seramik ürün üretimi ve bunun sonucunda ortalama olarak 205 kiloton seramik atığı oluşturan büyük bir üreticidir.

2009'dan sonraki yıllarda gerçekleşen fiili üretim miktarlarına göre, ilk 10 küresel seramik karo üreticisi arasında yer alan İspanya, İtalya ve Türkiye için ortalama atık üretim miktarları Çizelge 13'de verilmiştir. Hesaplamalar kalsine kil atığının bu üç ülkede, 2009'da yaklaşık 0.21 - 1.2 milyon ton iken; 2013 yılında 0,72 - 1,46 milyon ton olduğunu göstermektedir.

Çizelge 13 2010-2013 yılları arasında oluşan kalsine kil miktarları [77]

Ülke	Miktar (kt/yıl)			
	2010	2011	2012	2013
İspanya	366	392	404	420
İtalya	387	400	367	363
Türkiye	245	260	280	305
Toplam	998	1052	1051	1088

Bu verilere göre yapılan trend analizine göre pazar lideri bu ülkelerin 2030'a kadar oluşacak atık tahminleri Şekil 13'da sunulduğu üzere artan bir eğilim göstermektedir.



Şekil 13 Gelecekte kalsine kil atığı oluşum eğilimi

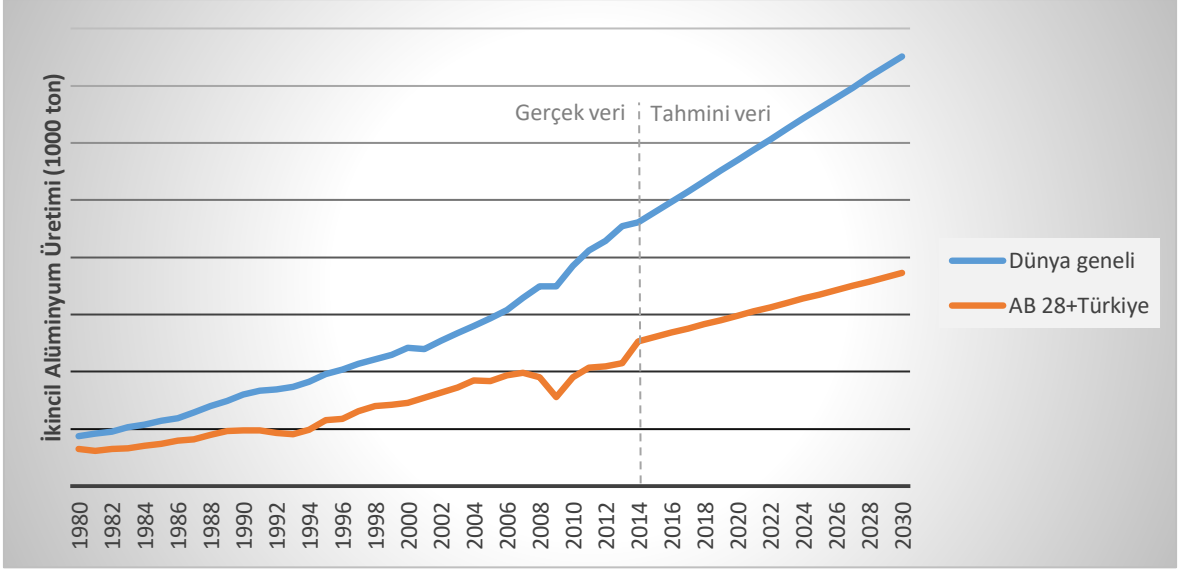
4.1.1.3 İkincil Alüminyum Trend Analizi

2010 verilerine dayanarak, küresel alüminyum geri dönüşümünün% 26'sı Avrupa'da gerçekleştirilmektedir [54]. Avrupa Alüminyum Birliği'nin verilerine göre, AB27'nin ikincil üretim miktarı 2007'de 5,1 milyon tondur. Ancak, ekonomik kriz nedeniyle 2009'da üretim değerleri düşmüştür. İkincil alüminyum endüstrisi, birincil alüminyum sektöründen çok daha hızlı bir şekilde toparlanmış ve o nedenle ikincil üretimin birincil üretime göre göreceli ağırlığı sürekli artmıştır. AB-27'de ikincil alüminyum üretimi, 2012'de 4,1 milyon ton olarak gerçekleşti. Avrupa'da birincil alüminyum üretim sahalarının sayısı oldukça az olsa da, Avrupa'da her yıl 1000 tondan fazla üretim yapan 130 şirket ile ikincil üretim için durum farklıdır [50]. AB-28 ve Türkiye'deki alüminyum üretiminin dağılımı .Çizelge 14'te sunulmaktadır. Üretimin coğrafi dağılımı bakımından en büyük üretim payına sahip iki ülke Almanya ve İtalya'dır. 2013'te ikisi de Batı Avrupa'da ikincil alüminyumun % 60'ından fazlasını üretmiştir [50].

.Çizelge 14 İkincil alüminyum üretim miktarları [78]

Ülke	Kapasite (Kt/yıl)
Çek Cumhuriyeti	15
Almanya	796
Macaristan	50
İtalya	666
İspanya	243
İsveç	32
Türkiye	150
Birleşik Krallık	198
Avusturya	150
Bulgaristan	13
Finlandiya	25
Fransa	222
Yunanistan	3
Hollanda	25
Polonya	19
Portekiz	18
Romanya	11
Slovenya	20
Genel Toplam	2656

Şekil 14'te Avrupa'da ikincil alüminyum üretiminin bir göstergesi olarak eski ve yeni alüminyum hurda miktarını dikkate alarak yapılan trend analizi olumlu bir eğilim göstermektedir.1980-2013 yılları arasındaki veriler kullanılarak 2030'a kadar olan süreç için üretim miktarları hesaplanarak, gelecekteki eğilim belirlenmiştir. İkincil alüminyum üretimi ve hurdaların geri kazanımı miktarları yıllar içerisinde birleşmesine rağmen, geri kazanılmış alüminyum hurdasının bir kısmının ikincil üretime yönlendirilmediği bir boşluk vardır [51].



Şekil 14 İkincil alüminyum üretiminin büyüme eğilimi [79],[80]

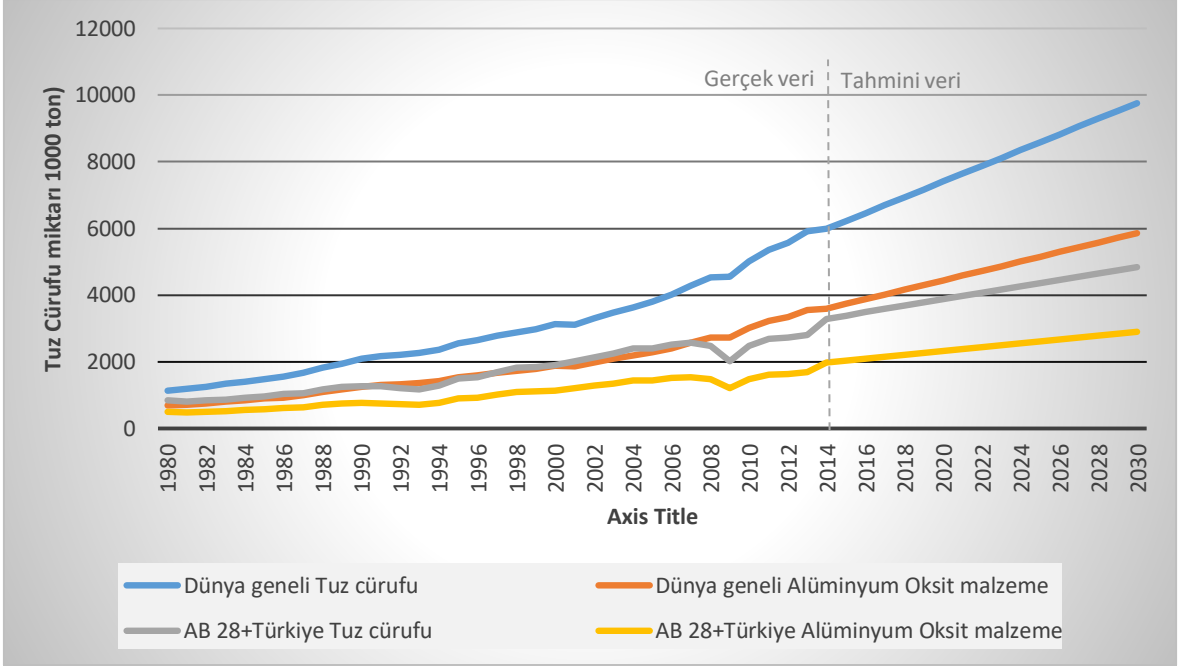
4.1.1.3.1 İkincil Alüminyum Atık Miktarları

Ulusal kapasiteleri sağlayan en son ikincil alüminyum üretim verileri 2006 yılına aittir. 2009 yılında ekonomik kriz sırasında ve sonrasında üretim hacimleri değişse de, coğrafi dağılımları elde etmek için 2006 yılı verileri OECD rakamlarından elde edilmiştir (Çizelge 15) [78].

Çizelge 15 Tuz cürufu miktarı [78]

Ülke	İkincil Alüminyum Üretimi (Kt/yıl)	Tuz Cürufu Miktarı (Kt/yıl)	AlO ₃ Miktarı (Kt/yıl)
Çek Cumhuriyeti	15,00	3,90	2,34
Almanya	796,00	206,96	124,18
Macaristan	50,00	13,00	7,80
İtalya	666,00	173,16	103,90
İspanya	24	63,18	37,91
İsveç	32,00	8,32	4,99
Türkiye	150,00	39,00	23,40
Birleşik Krallık	198,00	51,48	30,89
Avusturya	150,00	39,00	23,40
Bulgaristan	13,00	3,38	2,03
Danimarka	25,00	6,50	3,90
Finlandiya	36,00	9,36	5,62
Fransa	222,00	57,72	34,63
Yunanistan	3,00	0,78	0,47
Hollanda	25,00	6,50	3,90
Polonya	19,00	4,94	2,96
Portekiz	18,00	4,68	2,81
Romanya	11,00	2,86	1,72
Slovenya	20,00	5,20	3,12
Genel Toplam	2.692,00	699,92	419,95

Şekil 15'de verilen alüminyum oksitler için eğilim değerlendirmesi, doğrudan ikincil alüminyum üretimi yerine hurda geri kazanım oranlarına dayanmaktadır ve Şekil 14'te'deki değerlere göre hesaplanmıştır. Cüruf, alüminyum oksit içeriği ve geri kazanım oranları sırasıyla 0.26 t/t Al, %20 ve % 60 olarak alınmıştır. Trend analizinin sonuçları, 2030'da 500 bin tona kadar alüminyum oksidin bulunabileceğini göstermektedir. Ancak, gerçek miktarların bu değerden daha düşük olması beklenmelidir.



Şekil 15 Tuz cürufu oluşumu ve Al₂O₃ üretim eğilimi [79],[80]

4.1.1.4 Çelik Üretiminin Trend Analizi

Gelişmekte olan ekonomilerde, özellikle Çin'deki artan üretim kapasitesi, ekonomik büyümelerini teşvik etmekte ve düşük katma değerli çelik ürünlere yönelik ihracatını genişletmektedir. AB-28'de ham çelik üretimi, AB çapında 210 milyon tonluk üretim ile 2007'de zirve yapmıştır. 2014 yılında AB-28'de toplam ham çelik üretimi 169.3 milyon tona ulaşmıştır. Türkiye'de de EAO çelik üretim kapasitesi sürekli genişledi ve 2014 yılında 34 milyon tona ulaşmıştır [58]. EAO üretim kapasitelerinin AB üye devletlerinde ve Türkiye'de dağılımı Çizelge 16'da sunulmaktadır.

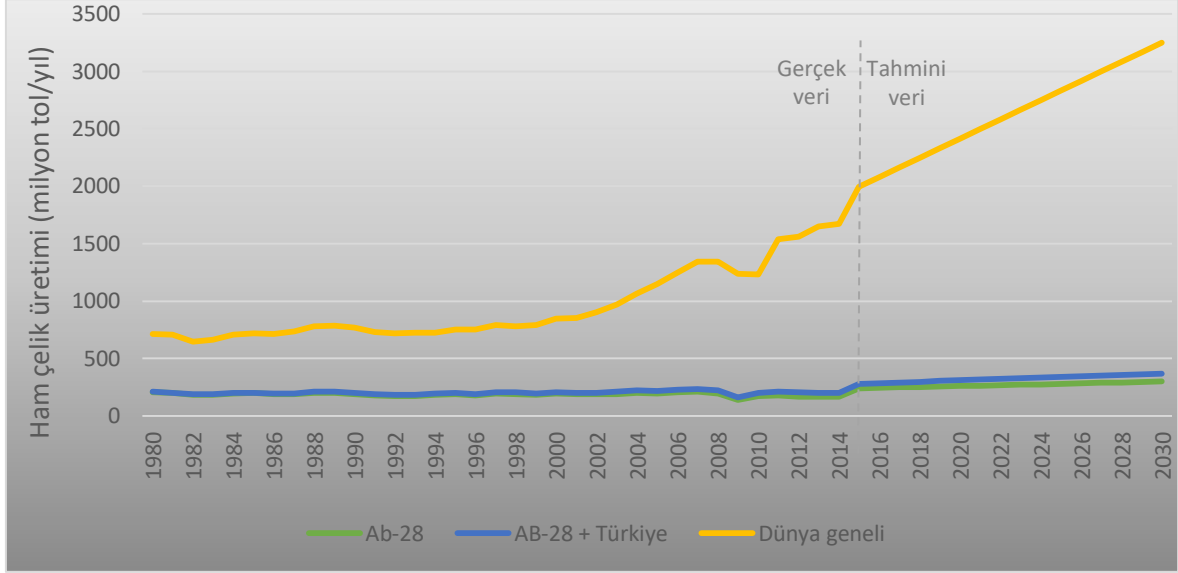
Çizelge 16 Ülkelere göre EAO çelik üretim kapasitesi-2014 [58]

Ülke	Üretim kapasitesi (milyon ton/yıl)
Belçika	7,33
Çek Cumhuriyeti	5,40
Almanya	42,90
Macaristan	1,20
İtalya	23,70
İspanya	14,20
İsveç	4,50
Türkiye	34,00
Birleşik Krallık	12,10
Avusturya	7,90
Bulgaristan	0,60
Finlandiya	3,80
Fransa	16,10
Yunanistan	1,00
Lüksemburg	2,20
Hollanda	7,00
Polonya	8,60
Portekiz	2,10
Romanya	3,20
Slovakya	4,70
Slovenya	0,60
Genel Toplam	203,13

Küresel çelik pazarının büyüklüğü, birçok sektördeki çelik talebi ve çelik üreten önemli bölgelerin / ülkelerin mali istikrarı gibi birçok faktöre bağlıdır. 2050 yılına gelindiğinde, artan nüfusun ihtiyaçlarını karşılamak için çelik kullanımının mevcut seviyelere kıyasla 1,5 kat artacağı tahmin edilmektedir [81]. Bugüne kadar dünya çapındaki en büyük çelik üreticisi Çin'in ardından AB-28, Japonya ve ABD gelmektedir. Ham çelik üretimi eğilimi, Türkiye ile birlikte AB-28 üretim miktarları Şekil 16'da görülmektedir. 1980-2014 yılları arasındaki verilere dayanarak, 2015-2030 tahminlerini kapsamaktadır. 2009 yılında küresel finansal kriz dönemleri dışında ham çelik üretimi sürekli artmıştır. Küresel üretim 2015 yılında% 1,7 oranında azalmış olsa da, 2016 yılında olumlu bir büyüme beklenmektedir.

Türkiye'nin çelik üretimi hesaba katılmazsa, genel Avrupa piyasası, trend analizi ile elde edilen tahmine dayanarak küçülüyor gibi görünmektedir. AB-28'in 2030 yılında, genel üretimi yıllık 170 milyon tona yaklaşabilir. Bununla birlikte, AB-28 toplamalarına

Türkiye üretimi eklenerek, Türkiye çelik sektörünün Avrupa pazarına yayılması, AB-28'de gelecekteki ham çelik kapasitelerinde olumlu bir büyümeye yol açmaktadır. Eğer Türk çelik endüstrisi tarihsel büyüme hızını koruyabiliyorsa, 2030 yılında brüt 213 milyon tonluk üretime yaklaşabilmektedir.



Şekil 16 Dünya'da ve AB'de çelik üretimi [58]

4.1.1.4.1 Çelik Üretimi Atık Miktarı

Avrupa'daki EAO ve Pota cürufu oluşumu ve Avrupa çevresindeki dağılımları atık oluşum oranlarıyla belirlenmiştir. Her iki tür cüruf oluşum oranı BREF'ten elde edilmiştir. Bu dökümana göre, elektrik ark ocağı aracılığıyla karbon çeliğinden elde edilen belirli cüruf miktarları 100-150 kg/ton sıvı çeliktir ve işlem sırasında da 10-30 kg/ton pota cürufu oluşur. EAO yoluyla yüksek alaşımlı çelik üretiminden, 30-40 kg/t pota cürufu üretimi ile 100-135 kg t sıvı çelik cüruf üretimi rapor edilmiştir [59]. Çizelge 17'de verilen değerler, maksimum ve minimum değerlerin yanı sıra 125 kg EAO cüruf /t çelik ve 30 kg pota cüruf /t çelik atık oluşum oranlarıyla hesaplanmıştır.

2014 yılına ait ham çelik üretim miktarı, Worldsteel Association'ın istatistiklerinden elde edilmiştir [58]. Her üye ülke için EAO üretiminin payı için ise yine BREF'ten

yararlanılmıştır [59]. Her ülke için EAO üretim miktarı, o ülkedeki ham çelik üretiminin, ilgili EAO üretim payı ile çarpılmasıyla elde edilir. Her ülke için 2014 yılında üretilen cüruf atığı miktarını elde etmek için ise bu miktar, EAO cürufu için baz alınan atık oluşum oranı (125 kg EAO cüruf/t çelik) ile çarpılmıştır.

İkincil metalurji cürufunda, pota cürufları için ayrı bir atık oranı tanımlamak mümkün değildi. Bu nedenle, hesaplamalar sırasında sadece EAO rotasında oluşan pota cürufu oranı (10–40 kg/t çelik) göz önünde bulunduruldu. Çizelge 18'de pota cüruf miktarı, EAO çelik üretim değerleri EAO yolu ile üretilen pota cürufu için pota cürufu oluşum oranı (10–40 kg/t çelik) ile çarpılarak hesaplandı. Bulunan verilerin Avrupa Cüruf Derneği'nin (European Slag Association) verileriyle de tutarlı olduğu görülmüştür. Derneğin yayınladığı rapora göre 2010 yılında üretilen toplam cürufun miktarı yaklaşık 21.8 milyon tondur; bunun % 39'u EAO çelik üretimi sonucunda üretilir ve % 13'ü pota işlemleri dâhil ikincil metalürji tarafından oluşur[65].

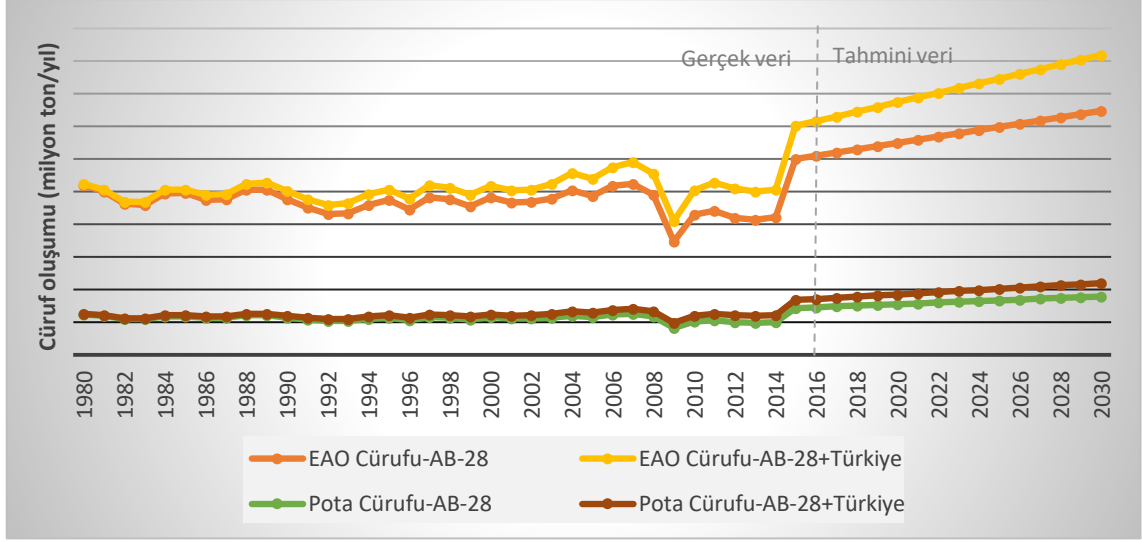
Çizelge 17 EAO cürufunun oluşum miktarları ve coğrafik dağılımları (min-100kg/t çelik-ortalama 125kg/t çelik-maks.150kg/t çelik) [58]

Ülke	Ham çelik Üretimi (Mt/yıl)	Elektrik ark ocağı ile çelik üretim yüzdesi (%)	Elektrik ark ocağı ile çelik üretim miktarı (Mt/yıl)	EAO cüruf atığı miktarı (Kt/yıl)		
				Min.	Ort.	Maks.
Belçika	7,30	32,40	2,40	237	296	355
Çek Cumhuriyeti	5,40	6,60	0,40	36	45	54
Almanya	42,90	30,00	13,00	1304	1630	1956
Macaristan	1,20	15,50	0,20	19	23	28
İtalya	23,70	72,50	17,20	1718	2148	2577
İspanya	14,20	70,50	10,00	1001	1251	1502
İsveç	4,50	31,80	1,40	143	179	215
Türkiye	34,00	69,80	23,70	2373	2967	3560
Birleşik Krallık	12,10	16,10	2,00	195	244	292
Avusturya	7,90	8,80	0,70	70	87	104
Bulgaristan	0,60	100,00	0,60	60	75	90
Finlandiya	3,80	33,20	1,30	126	158	189
Fransa	16,10	34,10	5,50	549	686	824
Yunanistan	1,00	100,00	1,00	100	125	150
Lüksemburg	2,20	100,00	2,20	220	275	330
Hollanda	7,00	1,80	0,10	13	16	19
Polonya	8,60	40,80	3,50	351	439	526
Portekiz	2,10	100,00	2,10	210	263	315
Romanya	3,20	41,60	1,30	133	166	200
Slovakya	4,70	7,70	0,40	36	45	54
Slovenya	0,60	100,00	0,60	60	75	90
Genel Toplam	203,10		90,00	8.954	11.193	13.430

Çizelge 18 Pota cürufunun oluşum miktarları ve coğrafik dağılımları (min – 10 kg/t LS, ortalama- 30 kg/t çelik, maks – 40 kg/t çelik [58] [59])

Ülke	Ham çelik Üretimi (Mt/yıl) [58]	EAO Üretim miktarı (Mt/yıl)[59]	Pota cürufu atık miktarı (Kt/yıl)		
			Min.	Ort.	Maks.
Belçika	7,30	2,37	24	71	95
Çek Cumhuriyeti	5,40	0,36	4	11	14
Almanya	42,90	13,04	130	391	522
Macaristan	1,20	0,19	2	6	7
İtalya	23,70	17,18	172	515	687
İspanya	14,20	10,01	100	300	400
İsveç	4,50	1,43	14	43	57
Türkiye	34,00	23,73	237	712	949
Birleşik Krallık	12,10	1,95	20	58	78
Avusturya	7,90	0,70	7	21	28
Bulgaristan	0,60	0,60	6	18	24
Finlandiya	3,80	1,26	13	38	50
Fransa	16,10	5,49	55	165	220
Yunanistan	1,00	1,00	10	30	40
Lüksemburg	2,20	2,20	22	66	88
Hollanda	7,00	0,13	1	4	5
Polonya	8,60	3,51	35	105	140
Portekiz	2,10	2,10	21	63	84
Romanya	3,20	1,33	13	40	53
Slovakya	4,70	0,36	4	11	14
Slovenya	0,60	0,60	6	18	24
Genel Toplam	203,10	89,54	896	2.686	3.579

Şekil 16'da verilen ham çelik üretim tahminlerine dayanarak, EAO ve pota cüruf oluşum tahminleri oluşturulmuştur (Şekil 17). Bu değerlendirmeye göre, 2030'da EAO cüruf oluşumunun 21 - 27 milyon ton arasında olabileceği; pota cüruf oluşumunun ise 5,0 - 6,5 milyon ton arasında değişebileceği görülmüştür.



Şekil 17 EAO ve Pota Cüruflarının Oluşum Eğilimi [58]

4.1.2 Atık Kullanma Potansiyeli Olan Sektörler

Bölüm 4.1.1’de elde edilen verilere göre inşaat sektörüne girdi sağlayan çimento ve beton üretimleri her yıl artan eğilim gösterdikleri görülmüştür. Benzer şekilde seramik, ikincil alüminyum, çelik ve inşaat yıkım atıkları da her yıl artan miktarlarda atık üretmektedir. Bu bölümde ikinci bir literatür araştırması yapılarak sektörler arasında kullanılabilir olan atıkları ve miktarları belirlenecektir.

4.1.2.1 Çimento Üretimi

Çimento üretimi için malzeme akışlarında, Huntzger ve Eatmon’un çalışmasındaki veriler baz alınmıştır [82]. Çizelge 19’da hammadde, fırın sistemi ve çimento fabrikası için ayrı kütle miktarı sunulmaktadır.

Çizelge 19 Geleneksel Portland çimentosu üretim girdileri ve çıktıları [82]

Hammadde Öğütme			Klinker Üretimi			Çimento Öğütme		
Malzeme Girdileri			Malzeme Girdileri			Malzeme Girdileri		
Malzeme	Miktar	Birim	Malzeme	Miktar	Birim	Malzeme	Miktar	Birim
Kalker	1,41	t/t çimento	Farin	1,598	t/t çimento	Klinker	0,95	t/t çimento
Kil	0,139	t/t çimento				Alçıtaşı	0,05	t/t çimento
Kum	0,034	t/t çimento						
Demir cevheri	0,015	t/t çimento						
Toplam	1,598	t/t çimento						
Enerji Girdileri			Enerji Girdileri			Enerji Girdileri		
Elektrik	88	kWh/t çimento	Kömür	0,12	kg/t çimento	Elektrik	128	kWh/t çimento
			Akaryakıt	0,02	lt/t çimento			
			Doğalgaz	0,02	m ³ /t çimento			
Çıktılar - Ara Ürün			Çıktılar - Ara Ürün			Çıktılar - Ürün		
Farin	1,598	t/t çimento	Klinker	0,95	t/t çimento	Çimento	1	t/t çimento

4.1.2.1.1 Çimento Sektöründeki Endüstriyel Simbiyoz Potansiyeli

Bu bölümde çimento üretiminde kullanılabilen atıklar, etkileri ve uygun kullanım değerleri incelenmiştir.

4.1.2.1.1.1 Çelik Sektöründen EAO Cürufunun Kullanımı

Literatürde Portland çimentosu klinkeri için yapılan üretimde çelik cürufunun kullanımına ilişkin çeşitli araştırmalara rastlanmıştır. Tsakiridis v.d., %10,5 EAO cürufu kullanarak üretilen çimentoyu baz çalışma ile kıyasladıklarında; cüruf kullanımının mineralojik özelliklerini etkilemediğini görmüşlerdir. Ayrıca, her iki klinker öğütülebilirlik, basınç dayanımları ve sağlamlık açısından da test edilmiştir. Fiziko-mekanik testlerin sonuçları, çelik cürufunun eklenmesinin üretilen çimento kalitesini olumsuz yönde etkilemediğini göstermiştir [83].

Iacobescu v.d., de EAO cürufunun bor içerikli çimentoda kullanımını incelemek için sırasıyla ağırlıkça % 0, %5 ve %10 cüruf ile üç tip klinker hazırlamışlardır. Çalışma

sonucunda özellikle %10'luk kullanımın çimento üretiminde çevresel avantaj sağlayacak üretimler gerçekleştirmesinin mümkün olduğunu göstermiştir [84].

Hosseini ve Fennel, EAO cürufunun değerlendirilmesine ilişkin yaptıkları incelemede, bu atığın çimentoda kullanımına ilişkin birçok çalışma sunmuşlardır. Monshi ve Asgarani'nin %8 oranında cüruf kullanarak hazırladıkları çimento CEM I Portland çimentosuyla eşdeğer dayanım göstermiştir [85].

4.1.2.1.1.2 Çelik Sektöründen Pota Cürufunun Kullanımı

Iacobescu v.d. Hem bertarafı zor olan hem de sınırla kullanımı olan pota cürufunun çimentoda kullanımını araştırmışlardır. Portland çimentosu baz çalışma olmak üzere, ağırlıkça %6 ve ağırlıkça %14 pota cürufu içeren üç grup numune incelenmiştir. Numuneler kimyasal ve fiziksel özellikleri bakımında kıyaslanmıştır ve çalışma sonucunda pota cürufunun kullanımının çimento üretimi için olumlu sonuçlara varmışlardır [64].

Vilaplana v.d. ve Serjun v.d., pota cürufunun çimento malzemesi olarak kullanılmasının çevresel olarak kabul edilebilirliğini araştırmışlardır [86] [63] Serjun v.d., çalışmalarını %30 pota cürufuyla ikame edilen çimento kompozitlerinde gerçekleştirmişlerdir. Sonuçlar, toksisiteye neden olan krom bileşiklerinin (Cr(VI)), pota cüruflarının çimento kompozitlerine eklenmesiyle etkili bir şekilde hareketsiz hale getirildiğini ve azaldığını göstermiştir [63]

Vilaplana v.d. laboratuvar ölçeğinde çeşitli farin kompozisyonlarından klinker ve çimento üretmiştir. Çalışmalarında, kireç doyma faktörü ve alümina ve silika oranları ayarlanarak çimento elde edilmiştir. Portland çimentosu üretmek için pota cürufunun kullanılmasının mineralojik özellikleri olumsuz yönde etkilemediği; basınç dayanımı, hacim genişlemesi gibi mekanik özellikleri de olumlu yönde etkilediği gösterilmiştir [86].

4.1.2.1.1.3 Seramik Sektöründen Kalsine Kil Atığının Kullanımı

Kalsine killer, çimento bileşenleri olarak tam potansiyellerini gerçekleştirememiş olan bileşenler arasında önemli bir rol oynayabilir. Bu malzemelerin puzolanik özellikler gösterdiği bilinmektedir. Bununla birlikte, kalsinasyon işlemi bu killerin kökeni ve bileşimi tarafından belirlenir. Kalsine kil, zengin SiO₂ içeriği (% 45-60) nedeniyle iyi bir silika kaynağıdır.

Zimbili v.d., seramik tuğla-kiremit üretiminde kullanılan yüksek sıcaklıkların (900°C'den fazla), çimento üretiminde kullanılacak kilin puzolanik özelliklerini etkinleştirmek için yeterli olduğunu göstermiştir [87]. Çalışmada, seramik atıklarla harmanlanmış çimento ile diğer puzolanik malzemelerle harmanlanan çimento kıyaslanmıştır ve % 11-14 ikame oranında seramik atıklı çimentonun daha iyi performans gösterdiği belirtilmiştir [87].

Ay ve Ünal tarafından yapılan bir başka çalışmada, kalsine kil atığı kayda değer miktarda puzolanik aktiviteye sahip olduğundan çimento üretiminde ağırlıkça % 35 oranında kullanılması uygun bulunmuştur [88].

Lavat v.d. de çevre sorunu haline gelen seramik endüstrisinin satılmamış atıklarının puzolan katkı olarak kullanılabilirliğini incelemişlerdir. Çeşitli testler yapılarak % 30'a kadar farklı çimento karışım formülleri hazırlamışlardır. Bu örneklerin, basınç dayanımı ölçülmüş, hidrasyon gelişimleri analiz edilmiştir. Araştırmanın sonuçları, kalsine kil atıklarının dayanımı olumsuz yönde etkilemeden %20-30 aralığında kısmi ikamesinin uygun olduğunu göstermiştir [89].

4.1.2.1.1.4 İkincil Alüminyum Sektörün Alüminyum Oksit kullanımı

Pereira v.d. çimento harcı özelliklerine zarar vermeden küçük miktarların (ağırlıkça %10'a kadar) işlem görmüş cüruf ile değiştirilebileceğini göstermiştir [90].

Tsakiridis bu atığın değerlendirilmesiyle ilgi hazırladığı incelemede, geleneksel tuz cürufunun metalik olmayan içeriğinin (Al_2O_3) geri dönüştürülerek, çimento üretiminde kullanılabileceğini belirtmiştir.

Feige ve Merker, tuz cüruflarının işlenmesinden elde edilen alüminyum oksitin, çimentoda kullanımını test etmiştir ve test sonuçlarıyla çimentoya olumlu fiziksel özellikler kazandırdığını göstermiştir [91].

4.1.2.1.1.5 İnşaat Yapım ve Yıkım Sektöründen Cam Atığının Kullanımı

Geri dönüşümlü cam üretimi için kalite standartlarına uymayan cam atıkları çimento üretiminde hammadde olarak kullanılabilir. Camın kimyasal bileşimi ve ortalama inceliği, ilgili bağlayıcıda beklenen fiziksel ve mekanik performanslar açısından önemli parametrelerdir.

Literatürdeki incelemelerde çimentoda cam kullanımı söz konusu olduğunda, potansiyel olarak zararlı alkali-silika reaksiyonu (ASR) ve dayanımdaki azalma hakkındaki endişeler sıkça rastlanmaktadır. Atık cam betonda kullanıldığında, ASR'yi (düşük alkali çimento ve puzolanik katkıların uygulanması gibi) önlemek için olağan önlemlerin etkili olduğu bulunmuştur. Atık camın çimentoda ince öğütülmüş bir mineral katkı maddesi (finely ground mineral additive-FGMA) olarak uygulanması, atık cam geri dönüşümü için umut vaat eden bir başka yöndür. FGMA camı, yüksek yüzey alanına sahip, daha sonraki bir aşamada daha yavaş bir alkali-silika reaksiyonu tehlikesini ortadan kaldıran nispeten hızlı puzolanik reaksiyonlara katılır.

Bignozzi v.d. sertleştirme işlemi sırasında camın kimyasal bileşiminin rolünü vurgulamak için, ağırlık olarak %25 oranında farklı tipte geri dönüştürülmüş cam içeren çimentolar üzerinde çalışmışlar ve bu kullanımın olumlu sonuçlarını belirlemişlerdir [92].

Jani ve Hogland, atık camın çimento ve betondaki farklı kullanımları ve cam özelliklerinin üretilen çimento ve betonun performans ve dayanıklılığı üzerindeki

etkisini incelemişlerdir. İncelenen çalışmalar, bu kullanımlar için olumlu sonuçlar vermiştir. Ancak cam atıklarının partikül büyüklüğü, ASR'nin yıkıcı tepkimesinde ve betonun performansında hayati bir rol oynamaktadır. Camın puzolanik özelliğinin, partikül boyutlarının 100 µm'nin altına düşürülmesiyle arttığı görülmüştür. Üretilen betonun özelliklerini etkilemeden kullanılacak atık camın (agrega veya çimento değişimi olarak) optimum yüzdesini ve partikül ebadını bulmak için tam bir çalışma gerektiğini belirtmişlerdir.

4.1.2.2 Beton Üretimi

Beton üretiminde, daha önce bahsedildiği üzere arzu edilen teknik özellikler, içeriklerindeki yüzdelerde yapılan değişiklikler veya ek malzemeler ile sağlanır. Çizelge 20'de geleneksel üretimdeki kullanım oranları verilmiştir.

Çizelge 20 Geleneksel beton üretimindeki girdi-çıktılar [93]

Hammadde Girdileri		
Malzeme	Miktar	Birim
Çimento	0,1	t/t beton
İnce agregası(kum)	0,3	t/t beton
Kalın agregası (çakıl)	0,5	t/t beton
Su	0,1	t/t beton
Enerji Girdileri		
Elektrik	2,3	kWh/t beton
Çıktılar - Ürün		
Beton	1,0	t beton

4.1.2.2.1 Beton Sektöründeki Endüstriyel Simbiyoz Potansiyeli

Bu bölümde beton üretiminde kullanılacak atıklar, etkileri ve uygun kullanım değerleri incelenmiştir.

4.1.2.2.1.1 Çelik Sektöründen EAO Cürufunun Kullanımı

Monosi v.d. çalışmalarında, beton üretiminde elektrikli ark ocağı (EAO) cürufunun, beton üretimindeki agregası ile %40 ikamesini incelemişlerdir. EAO cürufunun,

betonun basınç dayanımında önemli bir artışa neden olurken; bükülme dayanımını ve kuruma büzülmesine bir etkisi gözlemlenmemiştir. Böyle bir kullanımda serbest bırakılan metallerin, ulusal mevzuat gereklilikleri ile karşılaştırıldığında, çevre standartlarına uyan bir aralıkta kaldığı da belirtilmiştir [94].

EAO cürufunun beton üretiminde kullanımı, Pellegrino ve Falleschini tarafından da incelenmiştir. Geleneksel betonla karşılaştırdıklarında aşağıdaki sonuçlara ulaşımlardır [95].

- Geleneksel betonla karşılaştırıldığında, EAO cürufunu agrega olarak içeren beton, daha yüksek basınç ve çekme dayanımı göstermiştir.
- EAO cürufunun kullanılması su talebini arttırsa da, fazla su kullanımı betonun işlenebilirliğinin azalmasına neden olur. Bu yüzden fazladan su koymak yerine akışkanlığı ayarlamak için daha önce bahsedilen plastikleştiricilerin kullanılması daha iyi olacaktır.

4.1.2.2.1.2 Seramik Sektöründen Kalsine Kil Atığının Kullanımı

Vejmelková v.d., Portland çimentosunda aktif puzolan olarak farklı miktarlarda atık seramik içeren geniş bir parametre setini araştırmışlardır [96]. Çalışmaları kapsamında mekanik özellikleri, temel malzeme özellikleri ve termal özellikler incelenmiş ve herhangi bir puzolan içermeyen referans beton için elde edilen sonuçları karşılaştırmışlardır. Çimento (kütlece% 10-60) bir kısmı ince öğütülmüş seramiklerle değiştirilmiş ve sonuçlarda, atık seramiklerin uygun bir inceliğe sahip olması durumunda beton endüstrisinde Portland çimentosunun bir kısmının değiştirilmesi için uygun potansiyel bir puzolan malzemesi olarak kabul edilebileceğini gösterilmiştir [96].

Juan v.d. ise seramik atıklarının beton üretiminde agrega ikamesini de incelemişlerdir. %15, %20 ve %25 oranlarında yaptıkları farklı denemeler ile seramik endüstrisinden gelen atıkların kısmen doğal kalın agregaların ikamesi olarak kullanılabileceğini, betona mekanik davranış açısından pozitif özellik kazandırdığını

belirtmişlerdir. Bu şekilde elde edilen betonun basınç dayanımının, yapısal bir amaçla kullanılabilmesi için gereken minimum değer olan 25 N / mm²'yi aştığını görmüşlerdir [49].

Agrawal'ın yaptığı incelemede de söz konusu seramik atıklarının ince agrega ikamesi olarak kullanımlarına ilişkin çalışmalara yer verilmiştir. Farklı oranlarda ikamelerle yapılan deneylerde %30 oranında atığı kullanılmasının betonun çekme basınç dayanımında olumlu etkileri olduğu belirtilmiştir [97].

4.1.2.2.1.3 İkincil Alüminyum Sektörün Alüminyum Oksit kullanımı

Beton harcının en pahalı bileşeni olan çimentonun atıklarla ikamesi hem çevresel hem ekonomik avantajlar sağlayabilmektedir. Pereira v.d., tuz cürufundan elde edilen Al₂O₃'ün hem çimento hem de ince agrega ile ikamesini incelemiştir. Çalışma sonucunda betonda önemli bir hasar olmadan çimento ile yalnızca küçük miktarlarda (ağırlıkça % 10'a kadar) ikame edebileceği görülmüştür [90].

Yapılan deneylerde ince agrega ile ikame edilmesi daha olumlu olmuştur ve ağırlıkça % 30 ± 50 seviyesinde kullanılabilceği görülmüştür [90]. Elbette bunun getirdiği ekonomik katkı çimento ikamesine göre daha az olacaktır.

4.1.2.2.1.4 İnşaat Yapım ve Yıkım Sektöründen Cam Atığının Kullanımı

Bu çalışmada yapılan araştırmalarda görülmektedir ki, atık camın beton üretiminde kullanımı son yıllarda çalışılan bir konudur. Ancak bu kullanım sınırlayan alkali-silika reaksiyonudur (ASR). Beton dayanımının tipik olarak çimento yapısı ve agrega arasındaki bağ dayanımı tarafından kontrol edildiği bilinmektedir. Buna göre nispeten pürüzlü yüzeylere sahip doğal agregalar, nispeten pürüzsüz yüzeylere sahip kırılmış cam parçacıkları ile değiştirilirse, mukavemetin azalması beklenir [98].

Shayan ve Xu, cam tozu ilavesinin betonun dayanım özelliklerine etkisi üzerine bir çalışma yapmıştır [98]. Test sonucundan,% 30'luk ince cam tozundan daha fazla alkali salma potansiyeline sahip olan% 40'lık ince cam tozunun bile, betondaki çok reaktif agreganın muazzam genişlemesini etkili bir şekilde bastırdığı (% 80 azalma) belirtilmiştir. Daha az reaktif agregalar için genleşme tamamen baskılanmış olacaktır. Bu, ince cam tozunun betonun dayanıklılık özelliklerini iyileştirmedeki faydalı etkilerini olduğunu göstermektedir. Çalışmalarında %50'ye kadar agrega ile yapılan bir ikamenin olumsuz etki oluşturmadan kullanılabileceğini göstermişlerdir.

Jani ve Hogland tarafından gerçekleştirilen bir incelemede de, atık camın çimento ve betonda kullanılabileceği gösterilmiştir ancak cam atığının parçacık büyüklüğü ASR'nin yıkıcı reaksiyonunda ve betonun performansında önemli bir etkisi olduğundan dolayı, boyutlarına dikkat edilmesi gerektiği belirtilmiştir. Camın puzolanik özellikleri, partikül boyutlarının 100 µm'nin altına düşürülmesiyle artmaktadır. Çalışmada incelenen sonuçlarda bina camları veya geri dönüştürülmüş camlar için en uygun kullanım sınırının %20'ye kadar olduğu bilgisi yer almaktadır [99].

4.1.2.3 Alternatif Atık Kullanımları Araştırmaları Sonuçları

Literatürdeki çalışmalarda atıkların çimento ve beton üretiminde ikincil hammadde olarak kullanımlarına ilişkin bilgiler Çizelge 21'de özetlenmiştir.

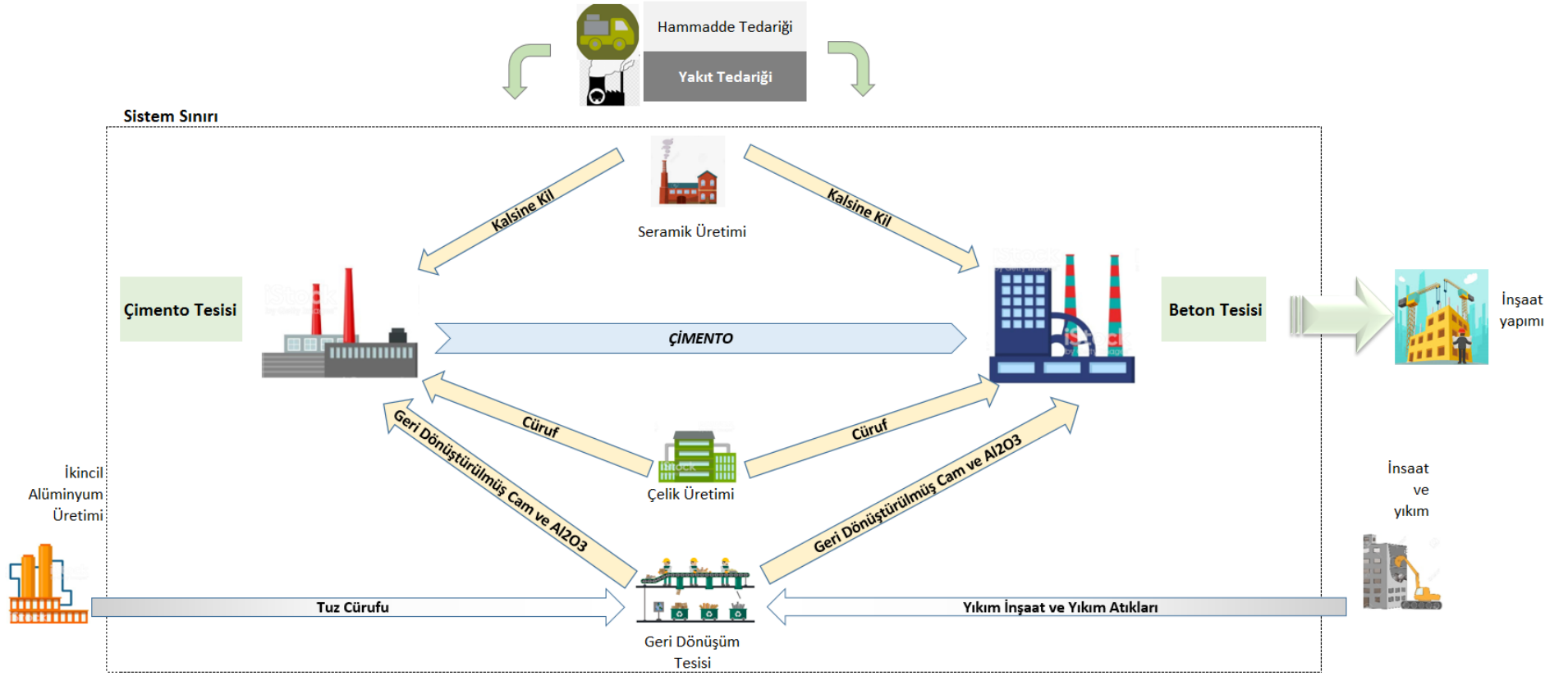
Çizelge 21 İkincil hammadde muhtemel ikame alternatifleri

	Çimento Üretimi	Beton Üretimi	Kaynak
EAO cürufu	<ul style="list-style-type: none"> • Üretiminin% 10'una kadar kireçtaşının yerini alır. • Sıcaklık tasarrufu sağlar, (NOx ve CO₂ azalmasından dolayı) • Doğrudan fırına beslenirse öğütme aşamasındaki enerji azalır (hammadde baypas edilir) • Demir içeriği nedeniyle ilk dayanım düşük olabiliyor • Manyetik içerik • Stabil olmayan kimyasal özellikler 	<ul style="list-style-type: none"> • Kalın agregaya ile yer değiştirir. • Kararsız özelliklerden dolayı daha sıkı ürün kalite kontrolü gerektirir 	[83], [100], [84],[85], [94], [101], [102]
Pota cürufu	<ul style="list-style-type: none"> • Kireçtaşı ile 33% oranına kadar ikame edebilir. • CaCO₃'ten CaO'ya geçiş adımında enerji tasarrufu sağlar. • % 16 CO₂ azaltımı sağlar. • Dayanımı etkilemez 	-	[64],[103], [104], [105], [84], [86], [63]
Cam	<ul style="list-style-type: none"> • Kabul edilebilir kalite parametreleri; önemli değişiklik yok • Emisyonlarla ilgili önemli değişiklik yok • İnce öğütülmüş cam puzolanın yerine geçer • Klinker ile % 20'ye kadar ikamesi kabul edilebilir (laboratuvar ölçek testi) • Kum ile %20 ikamesi (1.18 mm parça boyutunda) 	<ul style="list-style-type: none"> • Boyuta bağlı olarak ince veya kalın agregalarla veya her ikisiyle de yer değiştirebilir. • % 20'ye kadar daha yüksek dayanım verir. 	[106], [107], [108], [109], [99], [110], [111]
Tuz cürufundan elde edilmiş Alüminyum Oksit	<ul style="list-style-type: none"> • Alümina içeriği yerine kullanılabilir • Sınırlama parametresi: klorür, ağır metal, MgO içeriği 	<ul style="list-style-type: none"> • Çimento ile % 10 oranına kadar ikame edebilir. • Kum ile % 30-50 oranına kadar ikame edebilir. 	[55], [90], [56], [112], [113], [114]
Kalsine kil atığı	<ul style="list-style-type: none"> • Kil ve/veya kumun yerini alır • Fe₂O₃ ihtiyacını artırabilir • Daha düşük yanma ve % 10'a kadar daha yüksek reaktivite • Puzolanın yerini alır • Çimentoya% 35'e kadar eklenebilir (laboratuvar skalası sonucu) • % 20-30, geleneksel ham karışımla karşılaştırılabilir. 	<ul style="list-style-type: none"> • Kalsine kil puzolanik aktiviteye sahip olduğundan, çimento yerine ağırlıkça en fazla % 35 oranında kullanımı. 	[115], [116], [88], [87], [117], [118]

4.2 Sistem Tasarımı

Bölüm 4.1’de elde edilen verilere göre, çalışmanın bir sonraki aşamasında, araştırma derinleştirilmiş ve bir önceki bölümde belirlenen veriler BREF’lerdeki "temel çevresel konular" bölümleriyle birlikte ele alınmıştır. Buradan geleneksel üretim süreçlerinde kullanılan birincil hammaddelerin yanı sıra hangi sektörlerin, hangi sektörlerin atıklarını kullanarak ve ürünlerinin teknik özelliklerini koruyarak üretim yapabileceği bilgilerine ulaşılmıştır. Burada çapraz medya etkisi söz konusudur ve üretimler için hayli önemli bir parametredir. Bir atığı, bir üretimde ikincil hammadde olarak kullanırken, diğer etkilerine de bakılmalıdır; bunlar daha fazla CO₂ emisyonuna sebep olmakta mıdır, ürünün üretiminden çıkan atıklarda zararlı bir madde oluşmasına sebep olur mu, farklı bir gaz çıkışı yaratır mı, gibi konulardır. Bu bilgiler ışığında en çok farklı atık kullanabilen ve aynı zamanda kaynak yoğun sektörlerin başında gelen iki temel sektör belirlenmiştir. **Bunlar çimento ve beton üretim sektörleri olup, Çizelge 7’deki atıkları kullanabilecekleri belirlenmiştir. Başka bir deyişle, çalışma kapsamına “diğer sektörlerin atıklarını ikincil hammadde olarak alan-sektörler” olarak dâhil edilmiştir.** Buna göre sistemdeki akışlar, yani kaynak yoğun sektörler arasında endüstriyel simbiyoz yaklaşımıyla oluşturulan organize sanayi bölgesinde sektörler arası kurulabilecek ağlar Şekil 18’deki gibi belirlenmiştir. Bu çalışma, ekonomide önemli bir yeri olan ve aynı zamanda hem atık üretiminde hem de enerji tüketiminde kayda değer bir paya sahip olan kaynak yoğun sektörlerde endüstriyel simbiyoz yaklaşımıyla bir organize sanayi bölgesi (OSB) tasarlanmasına dayanmaktadır. Çalışma mevcut örnek OSB incelemesi değildir. Sistem hipotetik olarak tasarlanmıştır. Ancak kullanılan yöntem mevcut bir sisteme uygulanabilir bir yöntemdir.

Çalışma kapsamına alınan atık verecek olan sektörlerden, ikincil alüminyum ve inşaat-yıkım sektörlerinin atıkları direkt olarak başka bir üretimde kullanılamamaktadır. Bu nedenle sisteme bir geri dönüşüm tesisi dâhil edilerek atıkların önce burada işlem görmesi daha sonrasında ilgili üretim prosesine gönderilmesi öngörülmüştür.



Şekil 18 Çalışmada tasarlanan akışlar

4.3 Akış Senaryolarının Oluşturulması ve Maliyetlendirilmesi

Bir önceki adımda üzerinde çalışılacak akışların belirlenmesinin ardından, literatürde atıkların ikincil hammadde olarak ilgili üretimlerde nasıl kullanılabileceğine ilişkin araştırmalar yapılmıştır. Yine BREF raporlarından faydalanılmıştır. Bu araştırmalarda farklı atıkların farklı ikame oranlarıyla yapılan çalışmalar incelenmiş ve son ürünlere hangi kullanım aralıklarında fayda sağladıkları belirlenmiştir. Yine burada atıkların ikincil hammadde olarak verilen kullanım oranları kimyasal niteliklerine göre nasıl sınırlandırıldığına dikkat edilmiştir.

Bu bilgilere göre akış senaryoları oluşturulmaya başlanmıştır. Bunlar çimento ve beton üretiminde her bir atık kullanımı için kütle denklikleri sağlanarak oluşturulan girdi-çıktı çizelgeleridir. Burada baz alınan temel akışlar, çimentoda “Portland Çimentosu (Ordinary Portland Cement)” olarak anılan ürünün ve betonda “Hazır Beton (Ready Mix Concrete)” olarak bilinen ürünün geleneksel üretim sürecindeki (herhangi bir endüstriyel simbiyoz ilişkisi olmadan) girdi ve çıktılarıdır. Çalışmada kullanılacak fonksiyonel birim “1 ton ürün (çimento/beton)” olarak seçilmiştir. Buna göre tüm girdi-çıktı çizelgelerindeki değerler 1 ton ürün için gereken veya oluşan miktarlardır.

Atık kullanımına göre bu senaryolar hazırlanırken, hesaplamalar hammadde veya ara madde ikame oralarına dikkate edilerek kütle denklikleri sağlayacak şekilde yapılmıştır. Bunların her biri artık potansiyel bir endüstriyel simbiyoz (ES) akış senaryosudur. Senaryo matrisi Ek 2’de sunulmuştur.

Literatürdeki çalışmalara göre farklı aralıklarda kullanımı uygun bulunan senaryoların daha güvenilir sonuçlar üretebilmesi için tek bir değer kullanmak yerine genellikle senaryo sayısı artırılarak ortalama değerler ya da en az ve en çok olarak verilen değerler çalışmaya dâhil edilmiştir. Örneğin, X senaryosunda pota cürufu %6 oranında çimento üretimindeki klinker ile yer değiştirirken; Y senaryosunda klinker

ile %10 yer değiştirmektedir. Gereksinimlerle ilgili araştırmalar ve senaryolar oluşturulurken baz alınan bilgiler izelge 21’de verilmişti.

Senaryolar oluşturulurken herbirinde yalnızca bir atık türünün kullanılmasına dikkat edilmiştir. İncelenen çalışmalarda birden fazla atığın kimyasal açıdan etkileşime sebep olup olmayacağı bilgisine rastlanmadığından çalışmada buna yer verilmemiştir.

Bu adımın ardından, bu akışların gerektirdiği malzeme ve enerjilerin birim maliyetleri incelenmiştir. Bu maliyetler hem satın alma hem de taşıma maliyetleridir. Böylece, akışların birim maliyetleri hem "temel" alınan geleneksel akışta hem de yeni endüstriyel simbiyoz senaryolarında grlebilmemiştir. Fakat burada –fiyat- bilgilerine erişim çalışmada zorlayıcı bir adım olmuştur. Gerçek bir üretim için fimaların bu değerleri yayınlamadıklarından çeşitli web sitelerinden edinilen ve büyük olasılıkla bazılarında hayli yüksek kalan değerler kullanılmıştır. Bu maliyetler çalışmada amaç olarak değil sonuca erişmede araç olarak kullanılacak olduklarından birim maliyet bazında bir etki değerlendirmesi yapılmayacaktır.

Çalışmada belirlenen akışların endüstriyel simbiyoz yaklaşımıyla değerlendirebilmesi için bu kullanımların mali etkisini akış bazında değerlendirmemiz gerekmektedir. Örneğin bir atığın başka bir üretimde kullanımı mevcut üretimdeki maliyetinden daha yüksek bir maliyete de sebep olabilmektedir. Bu ikisini kıyaslamak yanılıcı bir sonuç verebilir. Simbiyotik ilişkiler kuracağı tasarlanan bir organize sanayi bölgesinde bu maliyetlerine bütünsel olarak yaklaşmak gerekir. Atığın alındığı tesis bu atığı bertaraf etmek için çok yüksek maliyetlere katlanıyorsa, bu maliyetin atığın kullanıldığı yeni üretim maliyetinden düşülerek değerlendirilmesi gerekir.

Bu nedenle çalışmanın bu aşamasında “senaryo maliyeti” hesaplanmıştır. Bu değer, aşağıdaki şekilde formülize edilmiştir:

$$K = L - M + N$$

(Eşitlik 1)

Burada;

K: A ürününün X atığıyla üretilmesi için oluşturulan **senaryo maliyeti**

L: A ürününün X atığıyla üretilmesinin birim ürün maliyeti (Satın alma ve taşıma maliyetlerini kapsamaktadır)

M:Normal şartlarda X atığının A üretiminde kullanılan miktarının atığı oluşturan firma tarafından bertaraf edilmesi durumundaki maliyeti

N:X atığının (gerekiyorsa) A üretiminde kullanılmadan önceki ön işlem maliyeti

Maliyetler hesaplanırken kullanılan değerler ve varsayılan değerler Çizelge 22'de verilmiştir.

Çizelge 22 Çalışmada kullanılan maliyet bilgileri

Girdi	Maliyet	Birim	Kaynak
Demir cevheri	64,32	Euro/ton	[119]
Kireçtaşı	77,52	Euro/ton	[120]
Kil	11,65	Euro/ton	[121]
Kum (SiO ₂)	47,15	Euro/ton	[122]
Alçıtaşı	7	Euro/ton	[123]
Çimento	113,2	Euro/ton	[124], [125]
İnce agregası (Kum)	8	Euro/ton	[126]
Kalın agregası (Çakıl)	8	Euro/ton	[126]
Su	0,0028	Euro/ton	[127]
Elektrik	0,1142	Euro/kWh	[128]
Kömür	78,83	Euro/ton	[129]
Doğalgaz	0,03	Euro/m ³	[130]
Akaryakıt	0,54	Euro/litre	[131]
Taşıma	0,07	Euro/tkm*	[132], [133]
Atık Bertaraf	50	Euro/ton	[134], [135]
Atık Geri Dönüşüm	5	Euro/ton	

*1tkm=1000kg km

Çimento maliyetiyle ilgili olarak, Şekil 18'de görüldüğü üzere bu akış tasarımında, beton üretimi, ES yaklaşımıyla üretilen çimentoyu kullanmaktadır. Bu çimentonun satın alma maliyeti Çizelge 22'de verilen değer üzerinden en az %5 daha az olacağı varsayımıyla belirlenmiştir. Bu bilgiden hareketle yeni çimentonun fiyatı 107,54 Euro (113,2*0.95) olarak belirlenmiştir. Uygulamada bu değer çok daha düşük olabilir. Farklı fiyatlar konulduğunda akışlar buna göre de hesaplanabilir. Ancak bu şekilde bir varsayım yapılmış ve mevcut çalışmada bunlar üzerinden gidilmiştir.

Taşıma maliyetleri ton-kilometre üzerinden hesaplanmıştır. Bu hesaplamada yük faktörü %85 olarak kullanılmıştır [136]. Yük faktörü, ortalama yükün, ton veya hacim olarak aracın toplam taşıma kapasitesine oranı olarak tanımlanabilir. Senaryolarda hesaplamalar ton başına yapıldığından taşınan malzeme miktarlarının farklı olması ton başına maliyeti değiştirmektedir. Bu nedenle yük faktörü kullanılmıştır.

Oluşan atıkların, bunları ikincil hammadde olarak kullanacak olan firmaya satış fiyatına ilişkin veri bulunamamıştır. Bu nedenle bertaraf maliyetinin %25'i olacağı varsayımıyla ilenmiştir.

Çalışmada ayrıca belli üretim kapasiteleri kullanılmıştır. Atık oluşturan ve atık kullanan üretimlerin kapasite miktarları Çizelge 23'te verilmektedir. Atık oluşturan sektörlerin yıllık atık miktarları bu üretim kapasitelerine göre daha önceki bölümde bahsedilen atık oluşum oranları (Çizelge 8) yoluyla belirlenmiştir.

Çizelge 23 Bir adet tesis için yıllık kapasite miktarları

Sektör	Üretim Miktarı*	İkincil Hammadde	Kullanılabilir Miktar(t)
Çelik	1.500.000 ton	EAO cürufu	187.500
		Pota Cürufu	45.000
Alüminyum	100.000.000	Al ₂ O ₃	15.600
Seramik	4.000.000 m ²	Kalsine Kil	4.000
İnşaat ve Yıkım	6.000.000 ton	Cam	30.000
Çimento	2.000.000 ton	-	-
Beton	600.000 ton	-	-

*Ortalama tesis kapasiteleri baz alınmıştır.

Bu bölümde belirlenen akış senaryoları ve Eşitlik 1'e göre oluşturulan senaryo maliyetleri Çizelge 24'te verilmiştir.

Çizelge 24 Çalışmada değerlendirilecek olan senaryolar

Senaryolar		Açıklama	Maliyet (Euro/ton)	Kaynaklar
Çelik atığının çimento üretiminde kullanımı	1a_1	Çimento üretiminde farin karışımına %10 EAO cürufu eklenmesi (%10 kalker ikamesi)	€ 133	[83], [100], [84], [85].
	1a_2	Çimento üretiminde pota cürufunun klinker ile 6% lık ikamesi	€ 147	[64],[103], [104], [105], [84], [86], [63]
Seramik atığının kullanımı çimento üretiminde kullanımı	1b_1	Çimento üretiminde farin karışımına normal kil yerine, aynı miktarda kalsine kil eklenmesi	€ 142	[137], [116], [88]
	1b_2	Çimento üretiminde kalsine kilin klinker ile 6% lık ikamesi	€ 147	
	1b_3	Çimento üretiminde kalsine kilin klinker ile 10% lık ikamesi	€ 146	
İkincil alüminyum atığının çimento üretiminde kullanılması	1c_1	Çimento üretiminde kil ikamesi olarak Al ₂ O ₃ eklenmesi	€ 143	[55], [90], [56], [112], [113], [114]
İnşaat atığının çimento üretiminde kullanılması	1d_1	Çimento üretiminde farin karışımına kum ikamesi olarak cam eklenmesi- %20 oranında	€ 149	[99]
	1d_2	Çimento üretiminde camın kil miktarı ile ikamesi	€ 143	[106]
Çelik atığının beton üretiminde kullanılması	2a_1	Hazır beton üretiminde, ES yaklaşımıyla üretilen çimentonun kullanılması ve kalın agrega ile EAO cürufunun %40'lık ikamesi	€ 16	[94]
Seramik atığının beton üretiminde kullanılması	2b_1	Hazır beton üretiminde, ES yaklaşımıyla üretilen çimentonun kullanılması ve İnce agrega ile %30 kalsine kil ikamesi	€ 23	[137], [116], [88], [87], [97]
	2b_2	Hazır beton üretiminde, ES yaklaşımıyla üretilen çimentonun kullanılması ve kalın agrega ile %20 kalsine kil ikamesi	€22	[49]
	2b_3	Hazır beton üretiminde, ES yaklaşımıyla üretilen çimentonun kullanılması ve kalsine kilin %15 oranında çimento ile ikamesi	€ 24	[138], [88], [87], [96]

İkincil alüminyum atığının beton üretiminde kullanılması	2c_1	Hazır beton üretiminde ES yaklaşımıyla üretilen çimentonun kullanılması ve Al ₂ O ₃ bazlı materyalin %10 çimentoyla ikamesi	€ 25	[90], [83]
	2c_2	Hazır beton üretiminde ES yaklaşımıyla üretilen çimentonun kullanılması ve Al ₂ O ₃ bazlı materyalin %40 kumla ikamesi	€ 22	[90]
İnşaat atığının çimento üretiminde kullanılması	2d_1	Hazır beton üretiminde ES yaklaşımıyla üretilen çimentonun kullanılması ve bu çimento ile %10 cam ikamesi	€ 25	[110]
	2d_2	Hazır beton üretiminde ES yaklaşımıyla üretilen çimentonun kullanılması ve ince agrega ile %10 cam ikamesi	€ 26	[99]

4.4 Matematiksel Modelleme ve Optimizasyon

Çalışmanın bu adımı ise bu farklı simbiyotik ilişkilerden oluşturulan sistem sınırı içerisinde en uygulanabilir olanların seçilmesi ve üretim miktarlarının belirlenmesidir. Bu amaçla, Çizelge 24'te verilen senaryolar, bir sanayi bölgesinin içindeki akışlar olarak toplamda oluşacak maliyetin minimize edileceği şekilde aşağıdaki gibi matematiksel olarak modellenmiş ve Matlab yazılımı aracılığıyla lineer olarak optimize edilmiştir. Bu optimizasyonda aşağıda listelenen parametreler kullanılmıştır.

X = Yıllık üretim miktarları (ton)

Çimento üretimi (x_1, x_2, \dots, x_8)

Beton üretimi (x_9, \dots, x_{16})

A = Senaryoların maliyetleri (a_1, a_2, \dots, a_{16}) (Euro)

C = Senaryolarda kullanılan girdilerin miktarları (ton/ton ürün) (c_1, c_2, \dots, c_{16})

K = İkincil hammaddelerin(*) yıllık kapasite kısıtları

k_1 = Çelik üretiminden çıkan EAO cüruf atığı miktarı (ton)

k_2 = Çelik üretiminden çıkan pota cüruf atığı miktarı (ton)

k_3 = Seramik üretiminden çıkan kalsine kil atığı miktarı (ton)

k_4 = İkincil alüminyum üretiminden çıkan tuz cürufu (Al_2O_3) miktarı (ton)

k_5 = İnşaat ve yıkım atıklarından elde edilen cam miktarı (ton)

**Üretimde hammadde olarak kullanılacak atıklar*

M = Ürünler İçin Yıllık Üretim Kapasite Kısıtları

m_1 = Çimento üretimi

m_2 = Beton üretimi

f = Amaç fonksiyonu

Modelin amacı, çimento ve beton üretimlerinde sağlanması gereken yıllık miktarların, sistem içine dâhil edilen tüm atıkları kullanarak minimum maliyetle üretilmesidir. Burada bahsedilen minimum maliyet, söz konusu çimento ve beton üretiminin arzulan miktar için toplam maliyetidir.

X değeri ise bu üretimleri gerçekleştirmek için hangi üretim senaryosundan ne kadar üretileceğini temsil etmektedir.

Özetle;

- İki ana ürün olan beton ve çimento yıllık kapasite miktarında üretilmelidir.
- Bu üretimler sistem içinde bulunan atık çeşitlerinin her birini kullanarak gerçekleşmelidir.
- Bu üretimlerin kullanacağı atık miktarı en az bir tesisin bir yılda ürettiği atık miktarı kadar olmalıdır. Bunlar daha önce Çizelge 23’de verilen değerlerdir.

Buna göre model aşağıdaki denklemler kullanılarak oluşturulmuştur:

Amaç Fonksiyonu: $\text{Min } f(A,X) = (a_1x_1) + \dots + (a_{16}x_{16})$

Kısıt 1: $c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_{16}x_{16} \geq k_1$

Kısıt 2: $c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_{16}x_{16} \geq k_2$

Kısıt 3: $c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_{16}x_{16} \geq k_3$

Kısıt 4: $c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_{16}x_{16} \geq k_4$

Kısıt 5: $c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_{16}x_{16} \geq k_5$

Kısıt 6: $x_1 + \dots + x_8 = m_1$

Kısıt 7: $x_8 + \dots + x_{16} = m_2$

Kısıt 8: $x_1, \dots, x_{16} \geq 0$

4.5 Sonuçların Hesaplanması

özüm sonrası elde edilen sonuçlar ve yorumları bir sonraki bölümde sunulmuştur. Burada ise yapılan analizin hesaplama detayı görülebilir. Sonuçların analizinde üç ayrı faktör incelenmiştir:

1. Kaynak Tüketimleri: Aynı kapasitedeki üretimin geleneksel üretime kıyasla kaynak tüketiminde ne kadar azalma sağladığı hesaplanmıştır. Bunun için söz konusu kaynağın matematiksel modelin çözümlenmesiyle elde edilen her bir x değerindeki tüketim miktarı hesaplanmıştır ve geleneksel üretimdeki kullanım miktarına göre azalma oranları yüzde değer ile sunulmuştur. Bu değer hem tesis bazında hem de Avrupa genelinde olmak üzere iki kez hesaplanmıştır. Avrupa'daki miktarı bulabilmek için yıllık kayıtlara geçen tüm çimento ve tüm beton üretim miktarı kullanılmıştır. Daha sonra optimizasyon çözümünde elde edilen üretim yüzdelerinin Avrupa geneline uygulandığı varsayılarak esaplama yapılmıştır. Örneğın çözümde yıllık çimento üretim hedefinin yarısı EAO cürufuyla üretiliyorsa, Avrupa daki çimento üretim miktarına uyarlanarak bu cürufun ikame ettiği kaynak kullanımında ne kadar azalma olduğuna bakılmıştır.
2. Atık Kullanımları: Burada verilen değer Avrupa genelinde bertaraf edilen atık miktarından sağlanan kazancı vermektedir. Bunun için önce tesis bazındaki atık kullanım miktarları yine x değerlerine göre belirlenmiştir. Sonra ilgili atığın Avrupa genelindeki kayda geçen bertaraf miktarına oranlanarak yüzde değer elde edilmiştir.
3. Maliyet Kazancı: Bu değer, tesis bazında geleneksel üretime göre atık kullanılarak yapılan üretimin mali olarak ne kadar azaldığını göstermektedir. Elbette burada gerçek bir üretim için gereken tüm maliyet kalemleri hesaplanmamıştır. Eldeki hammadde kullanım verileri ile çözüm sonucu belirlenen x miktarları üzerinden hesaplanan yeni kullanım verileri karşılaştırılmıştır. Bu hesaplama yapılırken,
 - Hammadde,
 - Satın alma maliyetleri,
 - Taşıma maliyetleri

dikkate alınmıştır. Atık kullanımı durumunda ise bunlara ek olarak,

- Atık satınalma maliyetleri,
- Atıkların taşıma maliyetleri,
- Atığın geri dönüşüm maliyetleri (varsa)

hesaplamaya dâhil edilmiştir.

5 SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu bölümün ilk kısmında, modelin çözüm değerleri sunulmuştur. İkinci kısımda ise bu değerlerden elde edilen sonuçlar verilmiş ve literatürde yer alan benzer çalışmalar ile birlikte değerlendirilmiştir.

5.1 Modelin Çözüm Değerleri

Modelin çözdürülmesiyle elde edilen sonuçlar; çimento ve beton üretimlerinin yıllık ne kadarını hangi atıktan kullanarak üreteceği bilgisini (x değeri) sağlamıştır. Bulunan değerler

Çizelge 25'te bir yıllık çimento üretimini (2 milyon ton) sağlayabilmek için bu çalışma kapsamında hazırlanan senaryolardan hangileri ile üretim yapılmasının ve bunlardan yine yıllık olarak ne miktarda gerçekleşmesinin optimal olduğu sunulmuştur. Seçilen senaryolar yeşil renk ile vurgulanmış olup, miktarlar "x" sütununda gösterilmektedir.

Çizelge 25 ve Çizelge 26’da verilmiştir. Matlab çözümü EK 3’te ayrıca sunulmuştur. Optimal çözüm, çimento ve beton için sekizer adet bulunan senaryolardan üçer adedinde üretim yaptırmıştır. Çalışma kapsamındaki oluşturulan senaryoların açıklamaları daha önce Bölüm 4.3’te Çizelge 24’te verilmişti. Atıkların **birim üretimdeki kullanım miktarları** da EK 2’de sunulmuştur.

Çizelge 25’te bir yıllık çimento üretimini (2 milyon ton) sağlayabilmek için bu çalışma kapsamında hazırlanan senaryolardan hangileri ile üretim yapılmasının ve bunlardan yine yıllık olarak ne miktarda gerçekleşmesinin optimal olduğu sunulmuştur. Seçilen senaryolar yeşil renk ile vurgulanmış olup, miktarlar “x” sütununda gösterilmektedir.

Çizelge 25 Çözüm sonuçları (Çimento üretimi)

	Senaryolar	Atıkların ilgili senaryolardaki kullanım miktarları (t/t ürün)					X (ton)
		EAO cürufu	Pota Cüruf	Kalsine kil	Al ₂ O ₃	Cam	
Çimento	1a_1	0,14	0	0	0	0	1.004.200
	1a_2	0	0,06	0	0	0	780.000
	1b_1	0	0	0,139	0	0	-
	1b_2	0	0	0,06	0	0	-
	1b_3	0	0	0,10	0	0	-
	1c_1	0	0	0	0,139	0	-
	1d_1	0	0	0	0	0,0068	-
	1d_2	0	0	0	0	0,139	215.800

Çizelge 26'da bir yıllık beton üretimini (600 bin ton) sağlayabilmek için bu çalışma kapsamında hazırlanan senaryolardan hangileri ile üretim yapılmasının ve bunlardan yine yıllık olarak ne miktarda gerçekleşmesinin optimal olduğu sunulmuştur. Seçilen senaryolar yeşil renk ile vurgulanmış olup, miktarlar "x" sütununda gösterilmektedir.

Çizelge 26 Çözüm sonuçları (Beton üretimi)

	Senaryolar	Atıkların ilgili senaryolardaki kullanım miktarları (t/t ürün)					X (ton)
		EAO cürufu	Pota Cüruf	Kalsine kil	Al ₂ O ₃	Cam	
Beton	2a_1	0,203					419.000
	2b_1	0	0	0,082	0	0	-
	2b_2	0	0	0,102	0	0	39.200
	2b_3	0	0	0,020	0	0	-
	2c_1	0	0	0	0,013	0	-
	2c_2	0	0	0	0,110	0	141.800
	2d_1	0	0	0	0	0,013	-
	2d_2	0	0	0	0	0,027	-

Toplamda çimento ve beton tesisleri üretimi kendileri için belirlenen kapasite ölçüsündedir. Bu miktarlara göre sistemde kullanılacak atık miktarları da Çizelge 27’de görülmektedir. Bu değerler Çizelge 25, Çizelge 26 ve ayrıca EK 2’de de verilen senaryolardaki birim kullanım miktarları ile modelin çözdürülmesiyle elde edilen x değerlerinin çarpımından elde edilmiştir. Burada tek tesisten çıkan atık miktarı ile kıyaslandığında bu sistemin 1.500.000 tondan daha fazla kapasitede bir çelik üretim atığını kullanabilecek kapasitede olduğu görülmektedir.

Çizelge 27 Optimal çözüme göre hesaplanan yıllık atık miktarları

	EAO cürufu	Pota Cüruf	Kalsine kil	Al ₂ O ₃	Cam
Çözümdeki x miktarına göre çimento ve betonda kullanılacak atık miktarı (ton)	225.645	46.800	3.989	15.539	29.996
Bir adet tesisten çıkan atık miktarı	187.500	45.000	4.000	15.600	30.000
Sanayi bölgesine konulabilecek tesis* adedi	1,20	1,04	1,00	1,00	1,00

*Atık kaynağı olan

Buna göre Çizelge 23’teki gibi kurgulanan sistemdeki tesisler, Çizelge 28’deki gibi toplamda yedi adet olarak belirlenebilir. Sisteme dâhil edilecek tesis kapasitelerine göre bu sayılar değişebilir, istenildiği gibi planlanabilir. Bu kurguda, EAO cürufunun tamamı kullanılabilen ancak pota cürufu bir miktar artmaktadır. Atık kullanan sektörlerin kapasitesi artarsa bu kullanımlar yeniden optimize edilebilir.

Çizelge 28 Sistemdeki tesisler

Tesis	Tesis	Ürün	Yıllık Üretim Miktarı (ton/yıl)	Atık	Atık Miktarı (ton/yıl)
1	Çelik Üretim	Ham Çelik	1.500.000	EAO cüruf	187.500
				Pota cürufu	45.000
2	Çelik Üretim	Ham Çelik	300.000	EAO cüruf	37.500
				Pota cürufu	9.000
3	Seramik Üretim	Tuğla ve kiremit	4.000.000	Kalsine kil	4.000
4	İkincil Alüminyum Üretimi	Alüminyum	100.000	Tuz cürufu	26.000
5	Geri Dönüşüm Tesisi	Cam	30.000		-
		Al ₂ O ₃	15.600		-
A	Çimento Üretimi	Çimento	2.000.000		-
B	Beton Üretimi	Hazır Beton	600.000		-

Elde edilen sonuçlara göre, çimento ve betonun yıllık üretimini değerlendirdiğimizde, her iki üretimde de EAO cürufundan yapılacak üretim miktarına düşük akış maliyetinden ve birim kullanım oranından dolayı yüksek pay ayrılmıştır. Çimento üretiminde kalsine kil ve Al₂O₃ kullanılarak yapılan üretim senaryoları optimal çözüme girememiştir. Ancak beton üretiminde bu atık kullanımlar sırasıyla %6 ve %24 oranında üretime dâhil edilmiştir. Bir başka deyişle çimento tesisi, 2.000.000 ton olan yıllık üretim miktarının;

- %50'sini EAO cüruf atığını kullanarak (Çizelge 24-Senaryo No:1a_1),
- %39'unu pota cürufu kullanarak (Çizelge 24-Senaryo No:1a_2),
- %11'ini cam kullanarak (Çizelge 24-Senaryo No:1d_2)

Üretirse hem tesis içindeki tüm atığın tüketilmesine katkıda bulunmuş hem de minimum maliyetle toplam üretimini gerçekleştirmiş olacaktır.

Aynı şekilde beton tesisi, yıllık 600.000 tonluk üretiminin;

- %70'ini EAO atığını kullanarak (Çizelge 24-Senaryo No:2a_1),

- %24'ünü Al₂O₃ kullanarak (Çizelge 24-Senaryo No:2c_2)
- %6'sını kalsine kil kullanarak (Çizelge 24-Senaryo No:2b_2)

Üretirse hem tesis içindeki tüm atığın tüketilmesine katkıda bulunmuş hem de minimum maliyetle toplam üretimini gerçekleştirmiş olacaktır.

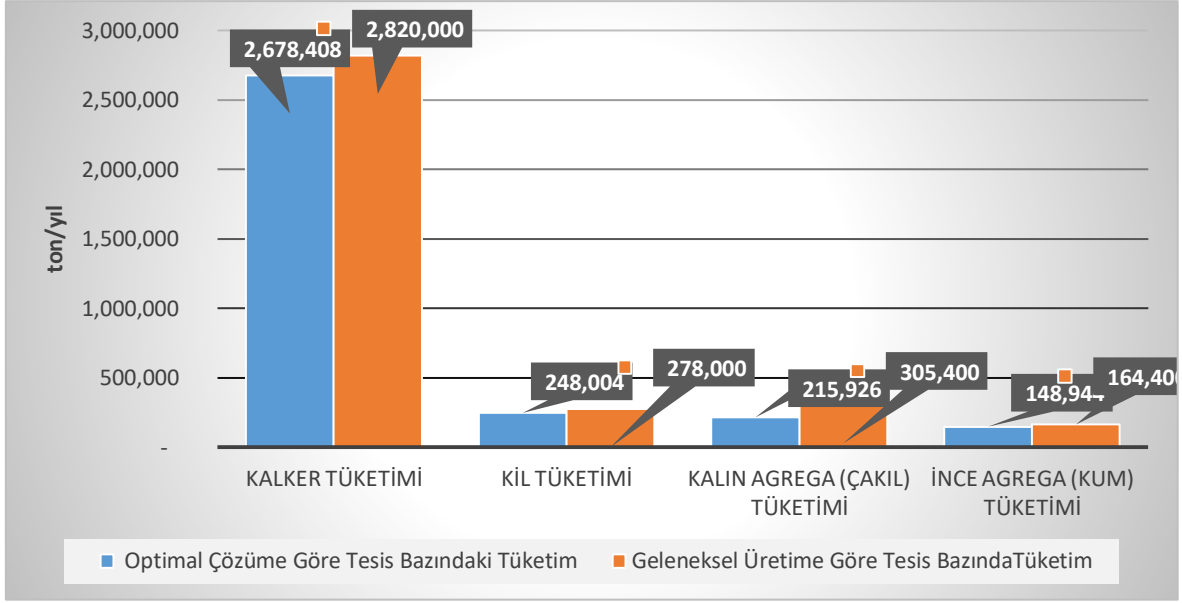
5.2 Sonuçlar ve Tartışma

Önceki bölümde sunulan çözümler üç kriterde incelenmiştir ve elde edilen sonuçlar üç ayrı başlık altında aşağıda verilmiştir. Hesaplamalarda kullanılan metodoloji Bölüm 4.5'te sunulmuş olup, bu bölümde sayısal olarak anlatımlarıyla açıklanmıştır.

5.2.1 Kaynak Tüketimleri

Giriş bölümünde de belirtildiği üzere kaynak yoğun sektörlerde doğal kaynak tüketiminin azaltılması önemli bir performans kriteridir. Ekonomik faaliyetin malzeme kullanımından ayrışması olarak tabir edilen, bir birim ürünün daha az girdiyle elde edilebilmesi amacı bu başlık altında incelenmiştir. Doğal kaynak kullanımından sağlanacak her tasarruf kaynak verimliliğinin önemli bir performans göstergesidir.

Bölüm 5.1'de sunulan çözümde atıkların yıllık üretimde kullanım miktarları belirlenmiştir. Bunlara göre birincil hammaddeler ile ikame oranlarına bakılarak yani optimal çözümün değer verdiği senaryolara göre çimento ve beton üretiminde de iki doğal kaynak kullanımında azalma gözlenmiştir. Tesis bazında aynı miktardaki ürünü üretmek için tüketilen kaynak miktarları ile ilgili senaryo üretim miktarlarına göre tüketimleri karşılaştırılmıştır (Şekil 19). Çimento ve beton üretimi için tüketilen kaynakların geleneksel üretimde ve bu çalışma kapsamında oluşturulan senaryolardaki miktarları Ek 2'de sunulmuştur. **Şekil 19'daki değerler, çimentonun yıllık 2 milyon ton ve betonun yıllık 600 bin ton olan (Çizelge 28) üretim değerleri ile ton başına birim ürün için gereken miktarlarınının (Ek 2) çarpımından elde edilmiştir.**



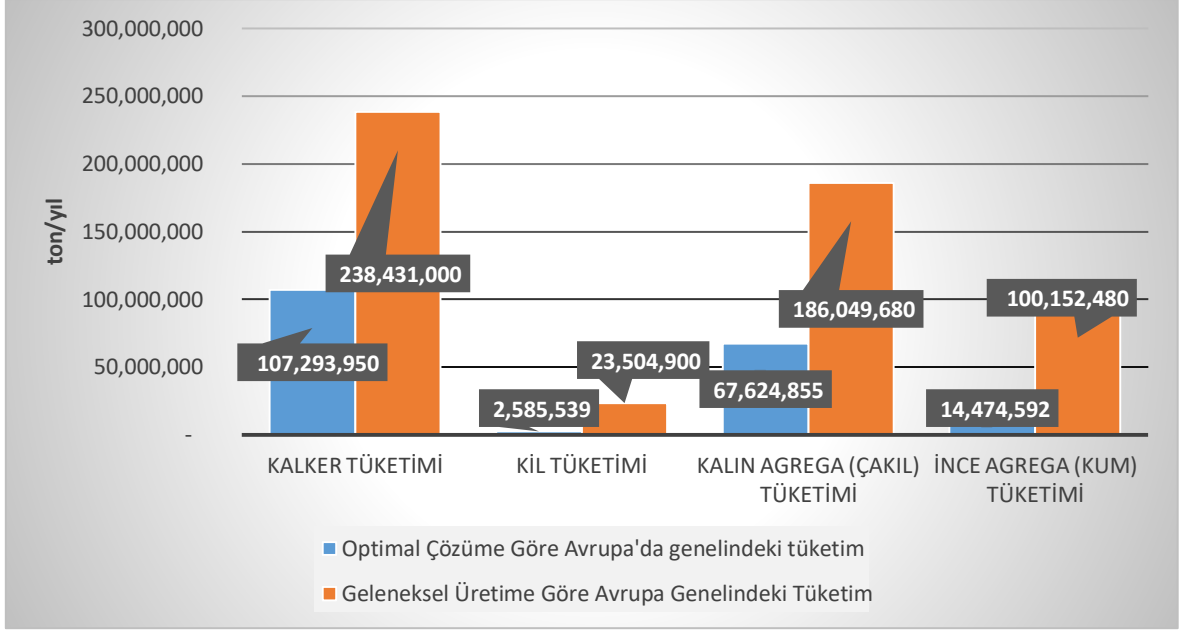
Şekil 19 Yıllık kaynak tüketimlerinin kıyaslanması (Tesis bazında)

Çizelge 29'da verilen Avrupa'daki yıllık üretim miktarlarına göre tüketilen kaynak miktarları hesaplanmıştır.

Çizelge 29 Çimento ve betonun Avrupa'daki yıllık üretim miktarları (Çimento-2016, Beton-2017) [139] [140]

	Çimento Üretimi (ton/yıl)	Beton Üretimi (ton/yıl)
AB 28	169.100.000	365.520.000

Buradan aynı üretimlerin optimal sonuçtaki yüzdelere göre miktarları Avrupa geneli için tekrar hesaplanarak aradaki fark incelenmiştir.(Şekil 20).



Şekil 20 Yıllık kaynak tüketimlerinin kıyaslanması (Avrupa genelinde)

Böylece çimento üretiminde kullanılan kalker ve kilin ve beton üretiminde kullanılan ince ve kalın agregaların tüketimindeki azalma yüzdeleri Çizelge 30'daki gibi olmaktadır. Çimento üretimi için en çok tasarruf kilden; beton üretimi için kalın agrega kullanımından sağlanmıştır.

Çizelge 30. Kaynakların yıllık tüketimindeki kazanç oranları

Kaynak Tüketimleri	Tesis Bazındaki Kullanımdan Kazanç	Avrupa Genelindeki Kazanç
Kalker	%5	%55
Kil	%11	%89
Kalın AgregA (çakıl)	%29%	%53
İnce AgregA (kum)	%9	%86

Böylelikle, tasarlanan sistemdeki çimento tesisi %16; beton tesisi %38 olmak üzere kaynak tüketiminde toplamda %54'lük bir azalma meydana gelmiştir.

Zhou v.d..[33]'nin çalışmasında, endüstriyel simbiyoz yaklaşımının etkisini görebilmek için, eko-endüstriyel bir kömür tesisi modelini oluşturmuşlardır. Bu çalışmadakine benzer şekilde senaryo optimizasyonu ve lineer programlama kullanılarak, farklı senaryolarda sistemin davranışları ve optimal endüstriyel yapıları karşılaştırmışlardır Problemi doğrusal olarak çözmüşler ve çalışmanın sonucunda, kok kömür kullanımında %15 azalma sağlandığını belirtmişlerdir. Bu değer, kaynak tüketiminde bu çalışma kapsamında elde edilen oranları destekler bir değerdir.

Bu kazanım ayrıca GİRİŞ bölümünde bahsedilen UNEP raporundaki bir birimlik ekonomik aktivite için tüketilen birincil kaynakların azaltılarak kaynak kullanımının ekonomik büyümeden bağımsızlaştırması yaklaşımını desteklemektedir. Geleneksel üretimde kullanılan kaynaklar azaltılmış, çimento ve beton tesislerinde yıllık talep edilen aynı ürün miktarı elde edilebilmiştir. [3],[9],[10].

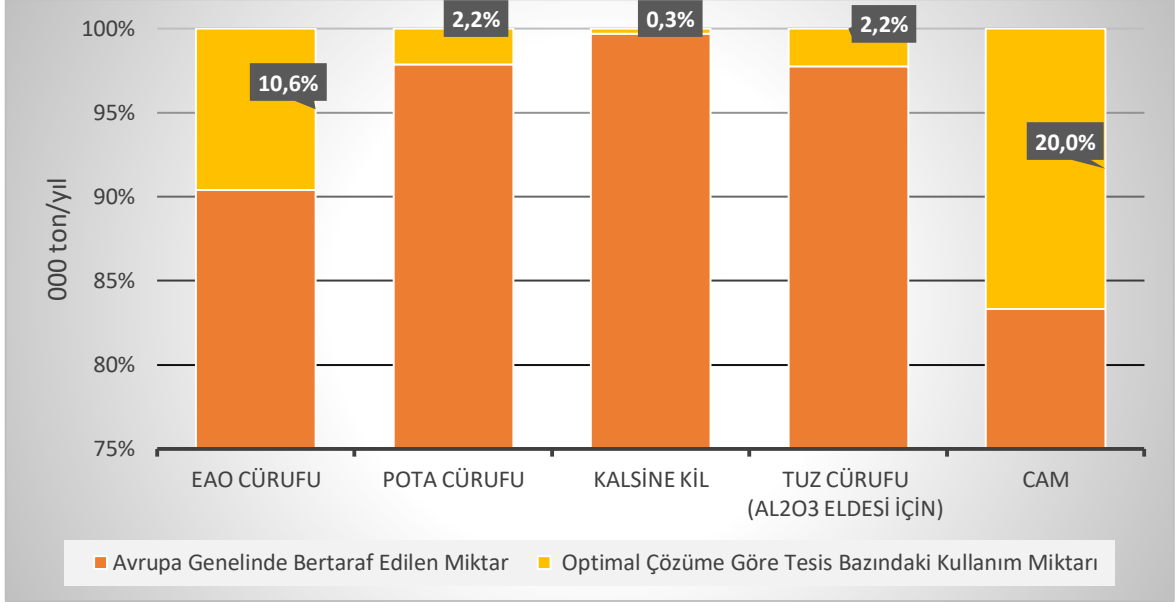
5.2.2 Atık Kullanımları

Atıkların ikincil hammadde olarak üretimde kullanılması kaynak verimliliğinin başka bir performans göstergesidir. Bölüm 3'te her bir bölümdeki atık yönetimi verilerinden elde edilen değerler özet halinde Çizelge 31'de verilmiştir. Geleneksel durumdaki bertaraf değerleri, optimal çözüme göre atıkların ikincil hammadde olarak kullanılmasıyla azalmıştır.

Çizelge 31 Atık bertaraf miktarları

Atık Kullanımları	Avrupa Genelinde Bertaraf Edilen Miktar (1000 ton/yıl)	Optimal Çözüme Göre Tesis Bazındaki Kullanım Miktarı (1000 ton/yıl)
EAO cürufu	2.126	226
Pota cürufu	2.148	47
Kalsine kil	1.304	4
Tuz cürufu (Al ₂ O ₃ eldesi için)	700	16
Cam	150	30

Tasarlanan sistemde belli kapasitelerdeki tesislerin üretimleri sonucu oluşan atıkların kullanım değerleri, Avrupa genelinde bertaraf edilen atık miktarı ile kıyaslanarak tek bir sistemin etkisi gözlenmiştir. Şekil 21’de azalmadaki oranlar görülmektedir.



Şekil 21 Bertaraf edilen atık miktarında sağlanan kazanç

Buna göre çalışma sonucunda bertaraf edilecek atıktan tasarruf yüzdeleri Çizelge 32’deki gibi hesaplanmıştır. En fazla kazanç EAO cürufunda ve inşaat ve yıkım atıklarından oluşan camda görülmüştür.

Çizelge 32 Bertaraf kazanç yüzdesi

Atık Kullanımları	Bertaraf veya Depolamadan Kazanç (Avrupa&Türkiye)
EAO cürufu	%10,61
Pota cürufu	%2,18
Kalsine kil	%0,31
Tuz cürufu (Al ₂ O ₃ eldesi için)	%2,22
Cam	%20,00

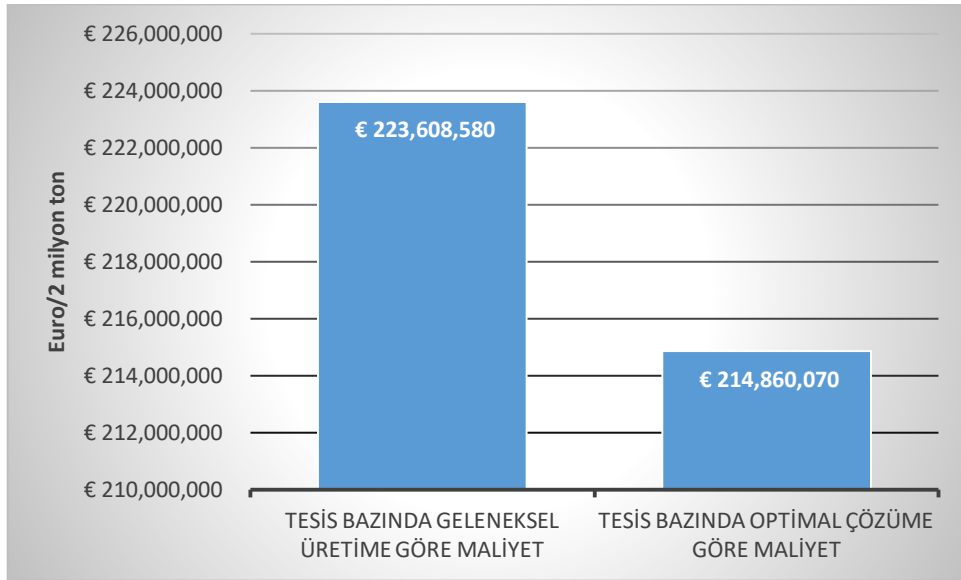
Bu değerler, çalışma kapsamında tasarlanan bu sistemin, elik, seramik, ikincil alüminyum ve inşaat yapım-yıkım sektörlerinden oluşan atıkları ikincil hammadde olarak kullanarak Avrupa genelinde, mevcut duruma göre bu atıkların bertarafını toplamda %35 azalttığını göstermektedir (izelge 32).

.....

5.2.3 Maliyet

Kaynak verimliliği çalışmalarında maliyet önemli bir parametredir. Bu alışma ES yaklaşımıyla yapılan bu sisteme göre üretimde maliyet değerindeki değişim, atık kullanımı ile ilgili yaklaşık öngörüler sunmaktadır.

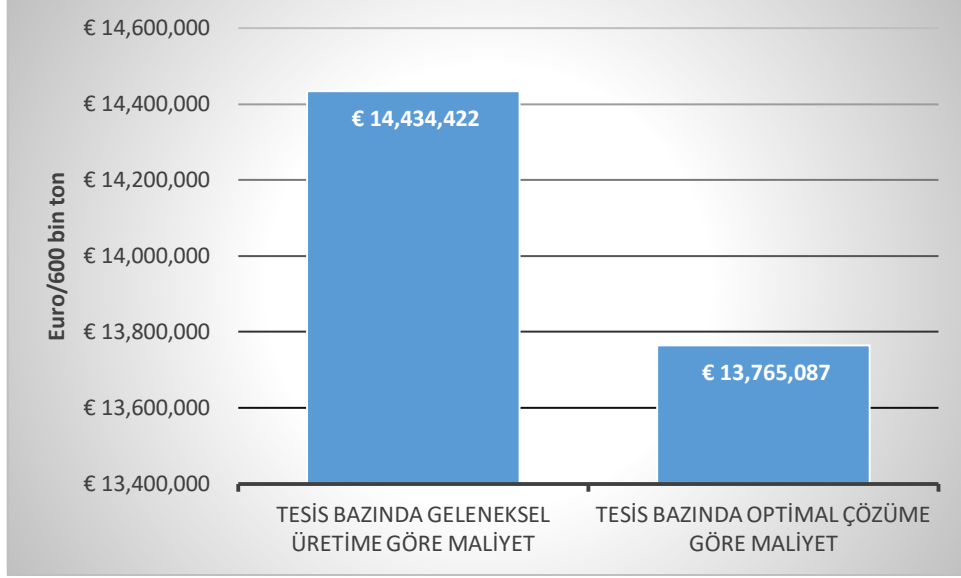
2 milyon ton kapasiteli imento tesisi optimal zme göre üretimini gerçekleştirdiğinde yıllık maliyeti ve bunun geleneksel üretimdeki maliyeti ile kıyaslanması şekil 22’de verilmiştir. Bu hesaplamalarda Bölüm 4.3’te verilen maliyetler kullanılmıştır.)



şekil 22 imenton tesisi bazında yıllık üretim maliyeti

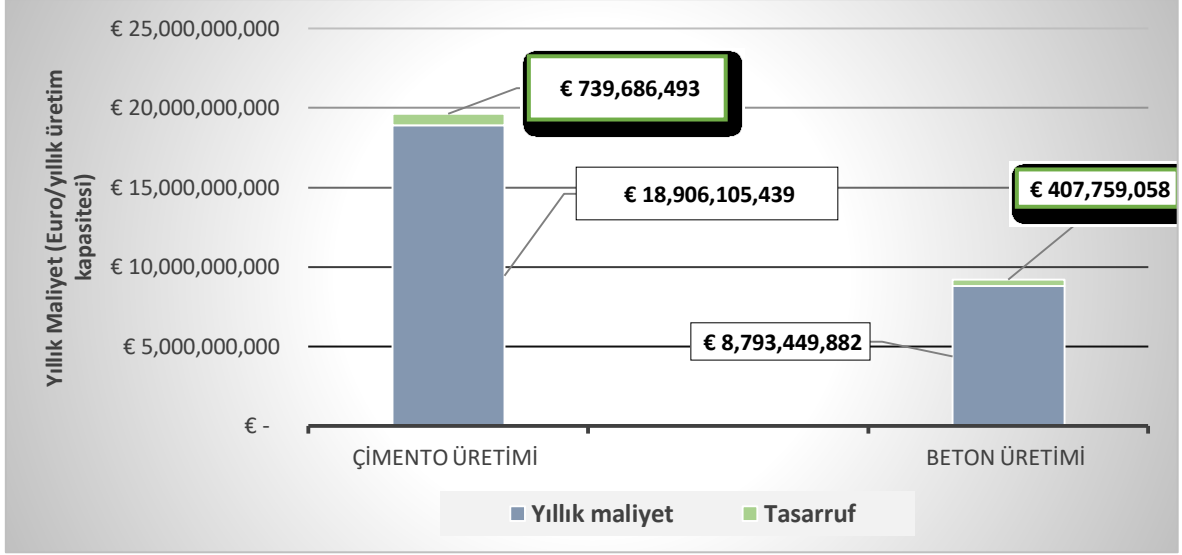
600 bin ton üretim kapasiteli beton tesisi çalışmadaki optimal zme göre üretimini gerçekleştirdiğinde yıllık maliyeti ve bunun geleneksel üretimdeki maliyeti ile

kıyaslanması Şekil 23’de verilmiştir. Bu hesaplamalarda Bölüm 4.3’te verilen maliyetler kullanılmıştır.)



Şekil 23 Betonun yıllık üretim maliyeti

Çimento ve beton üretiminin Avrupa genelindeki maliyet durumuna bakılacak olunursa, Çizelge 29’da verilen yıllık üretim miktarları ile yapılan hesaplamada Avrupa’da çimentonun yıllık üretim maliyeti yaklaşık 19 milyar Euro; betonun ise yaklaşık 9 milyar Euro olmaktadır. Yine belirtmek gerekir ki bu değerler çalışma kapsamında baz alınan maliyet verilerine görelerdir. Yığın üretimlerde gerçek maliyet daha az olabilir. Burada ele alınan maliyetlere ve optimal çözüm ile elde edilen verilere göre çimento ve beton üretimlerinden sağlanan yıllık tasarruflar Şekil 24’te gösterilmektedir.



Şekil 24 Avrupa genelinde optimal çözüm ile yıllık üretimlerden sağlanacak tasarruflar

Verilen yıllık kapasitelerdeki çimento ve beton üretiminin, optimal çözüme göre üretilmesi durumunda ton başına birim üretim maliyetlerindeki azalma oranları da Çizelge 33'te sunulmuştur.

Çizelge 33 Çimento ve beton üretiminde maliyet azalma oranı

	Maliyetteki Azalma Oranı (ton başına)
Çimento Üretimi	%4
Beton Üretimi	%5

Cao v.d. [30]nin çalışmasında, tasarlanan ekoparklar, ürettikleri ürünlerdeki aylık kâr miktarlarını tespit etmişlerdir. Dört ayrı ürün için yaptıkları hesaplama sonucunda aylık ortalama 697.658 Euro kâr hesaplamışlardır.

Bu çalışmada da çimento üretimi için aylık maliyet azaltımı yaklaşık 792.042 Euro, beton da da 55.778 Euro olup, ortalama 392.410 Euro'luk bir kazanım olduğu görülmüştür. Direkt olarak kâr hesabı olmasa da mali kazanç hakkında bir öngörü sunmaktadır.

Kim v.d. [32]nin çalışmasında ise baz aldıkları sisteme göre yıllık %8 maliyet azaltımı sağladıkları görülmüştür.

Bir tesisin kapasitesinin tamamını geleneksel yöntemle üretmesiyle, çalışmadaki üretim yüzdeleri verilen senaryolara göre üretmesi arasındaki maliyet farkına bakılmıştır. Maliyetin azalmasında birincil hammaddelerin satın alma ve tedarik maliyetinin yüksek olması etkindir. Öyle ki atıkların satın alınması, taşınması, varsa geri dönüşüm maliyetinin eklenmesiyle yine de toplam maliyet geleneksel üretime göre az olmuştur. Burada dikkat edilmelidir ki, beton üretiminde sıradan çimento değil, ES yaklaşımıyla üretilen çimento kullanılmıştır. Bu yaklaşımla üretilen çimento fiyatı piyasada elde edilecek istenen kâra ve beklenen özelliklerine göre(dolayısıyla farklı atıklarla üretime göre) değişiklik gösterecektir. Ancak sıradan çimento fiyatının en az %5 olacağı tahmin edilmektedir. Bu durumda çimento ve beton üretimindeki kazanç çok daha fazla olabilecektir.

6 GENEL SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1 Genel Sonuç

Temiz (sürdürülebilir) üretim uygulamaları, tüm dünyada yaygınlaşmakla beraber gerek çevresel etkilerin azaltılmasında, gerekse ekonomik kazanımlar konusunda tek başına yeterli olamamaktadır. Bu nedenle, “endüstriyel simbiyoz” kavramı gündeme gelmektedir. Bu kavram, birbirinden bağımsız işletmelerin, doğadaki ekosistem gibi, karşılıklı fayda sağlayacak bir ortaklık içerisinde çalışması olarak tanımlanmaktadır. Bu ortaklık ihtiyaca göre, malzeme, enerji, lojistik gibi birçok kullanımı kapsayabilmektedir.

Dünyada mevcut sanayi bölgelerinde bu kavramın hayata geçirilmiş örneği olan birçok eko-endüstriyel park oluşturulmaktadır. Bu parklarda, malzeme ve enerji akışlarının kapalı bir döngüde çevrimi sağlanarak, başta kaynak verimliliği olmak üzere, temiz üretim, maliyet etkinliği, bölgesel kalkınma gibi kazanımlar elde edilmekte ve dolayısıyla dünyada en çok odaklanılan konulardan biri olan döngüsel ekonomiye katkıda bulunmaktadır.

Bu izlenim doğrultusunda açık literatürdeki çok sayıda çalışma gözden geçirilmiştir. Bölüm 2’de sunulan literatür incelemesi sonucunda, çeşitli çevre strateji raporlarında önceliklendirilen kaynak yoğun sektörlerde endüstriyel simbiyoz yaklaşımıyla yapılan herhangi bir verimlilik çalışmasına rastlanmamıştır. Gitgide azalan doğal kaynaklar göz önünde bulundurulduğunda, üretimi dünya genelinde sürekli artış gösteren kaynak yoğun sektörlerle ilgili kaynak kullanımının azaltılmasına yönelik bir çalışma yapılması büyük önem arz etmektedir. Bunun yanısıra, incelenen endüstriyel simbiyoz çalışmalarında, simbiyotik ilişkiler belirlenirken, hammadde ikame oranının tam olarak analiz edilmediği görülmüştür. Oysa ki, ikincil hammadde olarak kullanılan atıklar, kullanım miktarına bağlı olarak, girdi karışımındaki diğer malzemelerle etkileşebilmekte, son ürünün özelliklerine (dayanım, sertlik vb.) direkt olarak etki etmekte ve çıktı bileşimlerinde de emisyon içerikleri konusunda önemli rol oynamaktadır.

Bu nedenle, bu çalışmada dünyanın çevre stratejilerinde yer verdiği öncelikli sektörler olan kaynak yoğun sektörlerde, kaynak verimliliğine ilişkin bir yaklaşım olan endüstriyel simbiyoz metodolojisinin kullanımıyla, örnek bir model olabilecek organize sanayi bölgesi tasarlanması ve böyle bir uygulamanın sağlayacağı kazanımların görülmesi amaçlanmıştır.

Bu motivasyonla, Avrupa atık yönetim stratejilerinde belirtilen kaynak yoğun sektörler araştırılmış ve Bölüm 3'te sunulmuştur. Bu çalışmanın gelecekte yapılacak uygulamalara ışık tutması arzu edildiğinden, çalışmanın ilk adımında bu sektörlerin üretim ve atık miktarları ve gelecekteki eğilimleri belirlenmiştir. Ardından, üretim proseslerindeki kütle girdi- çıktıları araştırılmıştır. İlgili sektörlerin üretim süreçleri incelenmiştir. Geleneksel üretim süreçlerinde oluşan atıklar, atık içerikleri ve bu atıkların yönetimi değerlendirilmiştir. Söz konusu atıklar; seramik üretimde, tuğla ve kiremit üretim sürecinde oluşan kalsine kil atığı, ikincil alüminyum üretiminden oluşan tuz cürufu ve bundan elde edilen alüminyum oksit malzemesi, çelik üretiminden oluşan EAO cürufu ve pota cürufu, inşaat yapım ve yıkımından oluşan cam atıklarıdır. Bu adımdan sonra Bölüm 4'te, atıkların oluşum miktarları ve gelecek eğilimleri belirlenmiştir. Atıkların oluştuğu süreçler, senaryoların oluşturulmasında kullanılmıştır. Atık yönetim miktarları ise, çalışma sonuçlarını mevcut işleyişle karşılaştırmak için baz oluşturmuştur.

Bölüm 4'te elde edilen verilere göre, çalışmanın bir sonraki aşaması olan sistem tasarımı için, araştırma derinleştirilmiş ve bir önceki bölümde belirlenen veriler BREF'lerdeki "temel çevresel konular" bölümleriyle birlikte ele alınmıştır. Buradan geleneksel üretim süreçlerinde kullanılan birincil hammaddelerin yanı sıra hangi sektörlerin, hangi sektörlerin atıklarını kullanarak ve ürünlerinin teknik özelliklerini koruyarak üretim yapabileceği bilgilerine ulaşılmıştır. Burada çapraz medya etkisi söz konusudur ve üretimler için hayli önemli bir parametredir. Bir atığı, bir üretimde ikincil hammadde olarak kullanırken, diğer etkilerine de bakılmalıdır; bunlar daha fazla CO₂ emisyonuna sebep olmakta mıdır, ürünün üretiminden çıkan atıklarda

zararlı bir madde oluşmasına sebep olur mu, farklı bir gaz çıkışı yaratır mı, gibi konulardır. Bu bilgiler ışığında en çok farklı atık kullanabilen ve aynı zamanda kaynak yoğun sektörlerin başında gelen iki temel sektör belirlenmiştir. **Bunlar çimento ve beton üretim sektörleri olup, Çizelge 7'deki atıkları kullanabilecekleri belirlenmiştir. Başka bir deyişle, çalışma kapsamına "diğer sektörlerin atıklarını ikincil hammadde olarak alan-sektörler" olarak dâhil edilmiştir.** Buna göre sistemdeki akışlar, yani kaynak yoğun sektörler arasında endüstriyel simbiyoz yaklaşımıyla oluşturulan organize sanayi bölgesinde sektörler arası kurulabilecek ağlar Şekil 18'deki gibi belirlenmiştir. Bu çalışma, ekonomide önemli bir yeri olan ve aynı zamanda hem atık üretiminde hem de enerji tüketiminde kayda değer bir paya sahip olan kaynak yoğun sektörlerde endüstriyel simbiyoz yaklaşımıyla bir organize sanayi bölgesi (OSB) tasarlanmasına dayanmaktadır. Çalışma mevcut örnek OSB incelemesi değildir. Sistem hipotetik olarak tasarlanmıştır. Ancak kullanılan yöntem mevcut bir sisteme uygulanabilir bir yöntemdir.

Çalışma kapsamına alınan atık verecek olan sektörlerden, ikincil alüminyum ve inşaat-yıkım sektörlerinin atıkları direkt olarak başka bir üretimde kullanılamamaktadır. Bu nedenle sisteme bir geri dönüşüm tesisi dâhil edilerek atıkların önce burada işlem görmesi daha sonrasında ilgili üretim prosesine gönderilmesi öngörülmüştür.

Bu verilerle toplamda, oluşan atık miktarları verileri dikkate alınarak ilgili tesislerin yer aldığı bir organize sanayi bölgesi tasarlanmış ve atıklarının, çalışmada iki ana ürün olarak belirlenen çimento ve beton üretiminde kullanılmak üzere, farklı ikame oranlarıyla üretim/akış senaryoları oluşturulmuştur. Bu senaryolar, maliyetleri de belirlenerek, matematiksel olarak modellenmiş ve istenilen ürün miktarını en az maliyetle karşılayacak şekilde optimize edilmiştir.

Matematiksel model çözüldüğünde, senaryoların, toplamda yıllık ürün talebini karşılayabilecek üretim miktarları belirlenmiştir. Buna göre çimento tesisi yaptığı yıllık üretimin, %50'sini çelik üretiminden gelen elektrik ark ocağı cürufuyla, %39'unu yine çelik üretiminden gelen pota cürufuyla, %11'ini ise inşaat yapım ve yıkım atıklarından gelen cam ile gerçekleştirebilecektir. Beton üretim tesisi ise yıllık üretiminin %70'ini çelik üretiminden gelen elektrik ark ocağı cürufuyla, %24'ünü dolaylı olarak ikincil alüminyum üretiminden gelen alüminyum oksit ile, %7'sini ise seramik sektöründen gelen kalsine kille gerçekleştirebilecektir.

Oluşan bu yeni üretim senaryoları ile kaynak tüketiminde, atık kullanımında ve üretim maliyetinde kazanımlar elde edilmiştir. Kaynak tüketiminde, çimento tesisi %16; beton tesisi %38 olmak üzere toplamda %54'lük bir azalma meydana gelmiştir. Tasarlanan sistem, oluşan atıkları ikincil hammadde olarak kullanarak Avrupa genelinde bertaraf edilen atık miktarını %35 azaltmıştır. Ayrıca, bu şekilde bir üretimde çimento tesisindeki üretim maliyetinin %4; beton tesisindeki üretim maliyetinin de %5 azaldığı görülmüştür

Genel bir değerlendirme yapılacak olunursa; bu çalışmada kaynak yoğun sektörlerde kaynak verimliliğinin sağlanması amaçlanmıştır. Bunun için ES simbiyoz yaklaşımı kullanarak tesislerin atıklarını birbirine aktarabileceği ağlar yaratacak örnek bir organize sanayi modeli oluşturulmuştur. Bu potansiyel akışlar, ekonomik, teknik ve çevresel veriler toplanarak kütle denkliklerine göre "üretim senaryoları" haline getirilmiştir. Üretim senaryoları da matematiksel olarak modellenip, optimal üretim miktarları saptanmıştır. Bunun sonucunda optimal bulunan miktarlar analiz edildiğinde, **ilgili atıkların çalışmada belirlenen kullanım oranlarıyla ve çözümden elde edilen üretim miktarlarıyla hedef üründe kullanıldığında; tüketilen hammadde miktarlarında, atık bertaraf miktarında ve ürünlerin üretim maliyetinde azalma** olduğu sonucuna varılmıştır.

6.2 Öneriler

Bu çalışma baz alınarak yapılacak bir çalışmada temiz üretimin farklı opsiyonları da kullanılarak ES yaklaşımıyla oluşturulmuş organize sanayi bölgesinde kaynak verimliliği daha yüksek seviyelere çekilebilir. Örneğin, atık kullanılan üretim teknolojilerinin geliştirilmesi, enerji yönetimi, ürün modifikasyonu gibi. Böyle bir sistem içerisindeki atık ısı değerlendirmeleri veya coğrafik konumuna göre temiz kaynak kullanımları için enerji analizleri yapılabilir. Bir diğer seçenek buradaki simbiyotik akış uygulamalarının geliştirilmesidir. Her bir tesiste oluşan atıkları analiz edebilecek proses kontrolleri yapılmalıdır. Aynı şekilde bu atığı ikincil hammadde olarak kullanacak tesisin de kontrollü girdi miktarlarında analizler yaparak kullanımlarını geliştirmesi mümkündür. Pratikte yapılacak bu analizler ile bir üründe birden fazla çeşit atık kullanılabilir, böylece hem daha fazla çeşit birincil hammadde tüketiminde, hem de üretim maliyetlerinde azalma sağlanabilir. Elbette bu genel düzeyde bertaraf edilen atık türü sayısını ve miktarını da azaltarak kaynak verimliliğini daha yüksek seviyelere çekebilecektir.

KAYNAKLAR

- [1] F. P. A. El-Kholy, "Cleaner Production," *Encycl. Glob. Environ. Chang.*, 2002.
- [2] European Commision, "An EU action plan for the circular economy," *Com*, vol. 614, p. 21, 2015.
- [3] United Nations Environment Programme (UNEP), *4th Global Environment Outlook: Environment for Development (GEO-4)*, vol. 9, no. 2. 2014.
- [4] European Environment Agency (EEA), *Material Resources and Waste - 2012 Update. The European Environment. State and Outlook 2010*. 2012.
- [5] SPIRE, "The Sustainable Process Industry through Resource and energy Efficiency (SPIRE) for EUROPE 2020."
- [6] Eurostat Statistics Explained, "Consumption of Energy." [Online]. Available: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Archive:Consumption_of_energy.
- [7] Makina Mühendisleri Odası, *Dünyada Ve Türkiye 'de Enerji Verimliliği ss.5-10*. 2012.
- [8] B. Kalkınma, "Dünya Bankası Yenilenebilir Enerji ve Enerji Verimliliği kredisi," 2013.
- [9] United Nations, *GEO 4, Global Environment Outlook, environment for development*. 2007.
- [10] FAO, "SIDS Natural Ressources Management and the Environment," *Small Isl. Dev. States*, vol. 1, p. 16, 2010.
- [11] A. H. Schandl, M. Fischer-kowalski, J. West, S. Giljum, M. Dittrich, N. Eisenmenger, A. Geschke, M. Lieber, H. Wieland, A. Schaffartzik, M. Lenzen, H. Tanikawa, and A. Miatto, [1] A. H. Schandl, M. Fischer-kowalski, J. West, S. Giljum, M. Dittrich, N. Eisenmenger, A. Geschke, M. Lieber, H. Wieland, A. Schaffartzik, M. Lenzen, H. Tanikawa, and A. Miatto, *GLOBAL MATERIAL FLOWS AND RESOURCE Assessment Report for the .GLOBAL MATER. .*
- [12] E. P. For and P. By, *NATURAL RESOURCE MANAGEMENT AND*

*ENVIRONMENTAL WORKS REPORT Prepared For : Australian Government
Natural Resource Management Joint Team July 2007 Prepared By :*, no. July.
2007.

- [13] EC, "Roadmap to a Resource Efficient Europe. {SEC(2011) 1067 final} {SEC(2011) 1068 final}," pp. 1–26, 2011.
- [14] P. Lee, E. Sims, O. Bertham, H. Symington, N. Bell, L. Pfaltzgraff, P. Sjögren, H. Wilts, M. O'Brien, and J. Benke, *Towards a circular economy – Waste management in the EU*. 2017.
- [15] European Commission, "Directive 2008/98/EC on waste (Waste Framework Directive)." [Online]. Available: <http://ec.europa.eu/environment/waste/framework/>.
- [16] T. B. Christensen and T. Kjaer, "Industrial symbiosis in the energy sector," *Jt. Action Clim. Chang. Aalborg, Denmark*, no. June, pp. 1–13, 2009.
- [17] R. U. Ayres, V. Norberg-bohm, J. Prince, W. M. Stigliani, and J. Yanowitz, "Industrial metabolism, the environment, and application of materials-balance principles for selected chemicals. Research report RR-89-I 1," *IASA, Laxenburg, Oct.*, no. June 2015, 1989.
- [18] R. A. Frosch and N. E. Gallopoulos, "Strategies for Manufacturing," *Sci. Am.*, vol. 261, no. 3, pp. 144–152, 2010.
- [19] M. R. Chertow and J. Park, *Taking Stock of Industrial Ecology*. 2016.
- [20] E. Union, *Circular Economy Scoping Study*, no. August. 2014.
- [21] H. GRANN, "The Industrial Green Game: Implications for Environmental Design and Management," in *The Industrial Green Game: Implications for Environmental Design and Management*, 1997, pp. 117–123.
- [22] S. S. Chopra and V. Khanna, "Understanding resilience in industrial symbiosis networks: Insights from network analysis," *J. Environ. Manage.*, vol. 141, pp. 86–94, 2014.
- [23] International Synergies Limited, "National Industrial Symbiosis Programme." [Online]. Available: <https://www.international->

synergies.com/projects/national-industrial-symbiosis-programme/.

- [24] S. M. El-Haggar, "Sustainable Development and Industrial Ecology," *Sustain. Ind. Des. Waste Manag.*, pp. 85–124, 2008.
- [25] R. P. Côté and T. Smolenaars, "Supporting pillars for industrial ecosystems," *J. Clean. Prod.*, vol. 5, no. 1–2, pp. 67–74, 1997.
- [26] International Synergies Limited, "Iskenderun Bay Industrial Symbiosis." [Online]. Available: <https://www.international-synergies.com/projects/iskenderun-bay-industrial-symbiosis/>.
- [27] S. E. E. Profile and S. E. E. Profile, "Agricultural Waste Problem Can Be Solved Within Industrial Agricultural Waste Problem Can Be Solved Within Industrial Symbiosis," no. December 2018, 2019.
- [28] M. Karlsson and A. Wolf, "Using an optimization model to evaluate the economic benefits of industrial symbiosis in the forest industry," *J. Clean. Prod.*, vol. 16, no. 14, pp. 1536–1544, 2008.
- [29] A. Meneghetti and G. Nardin, "Enabling industrial symbiosis by a facilities management optimization approach," *J. Clean. Prod.*, vol. 35, pp. 263–273, 2012.
- [30] K. Cao, X. Feng, and H. Wan, "Applying agent-based modeling to the evolution of eco-industrial systems," *Ecol. Econ.*, vol. 68, no. 11, pp. 2868–2876, 2009.
- [31] R. Bailey, J. K. Allen, and B. Bras, "Applying ecological input-output flow analysis to material flows in industrial systems - Part I: Tracing flows," *J. Ind. Ecol.*, vol. 8, no. 1–2, pp. 45–68, 2004.
- [32] S. H. Kim, S. G. Yoon, S. H. Chae, and S. Park, "Economic and environmental optimization of a multi-site utility network for an industrial complex," *J. Environ. Manage.*, vol. 91, no. 3, pp. 690–705, 2010.
- [33] L. Zhou, S. Y. Hu, Y. Li, Y. Jin, and X. Zhang, "Modeling and Optimization of a Coal-Chemical Eco-industrial System in China," *J. Ind. Ecol.*, vol. 16, no. 1, pp. 105–118, 2012.

- [34] R. T. L. Ng, D. K. S. Ng, R. R. Tan, and M. M. El-Halwagi, "Disjunctive fuzzy optimisation for planning and synthesis of bioenergy-based industrial symbiosis system," *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 2, no. 1, pp. 652–664, 2014.
- [35] E. Romero and M. C. Ruiz, "Proposal of an agent-based analytical model to convert industrial areas in industrial eco-systems," *Sci. Total Environ.*, vol. 468–469, pp. 394–405, 2014.
- [36] C. Gu, S. Leveneur, L. Estel, and A. Yassine, "Industrial symbiosis optimization control model for the exchanges of the material/energy flows in an industrial production park," *IFAC Proc. Vol.*, vol. 46, no. 9, pp. 1015–1020, 2013.
- [37] V. Gonela and J. Zhang, "Design of the optimal industrial symbiosis system to improve bioethanol production," *J. Clean. Prod.*, vol. 64, pp. 513–534, 2014.
- [38] EIO, "Resource-efficient construction. The role of eco-innovation for the construction sector," no. April, pp. 0–63, 2011.
- [39] Ecorys, "Resource efficiency in the building sector: Final report," no. May, 2014.
- [40] European Commission, "Waste, Construction and Demolition Waste (CDW)." [Online]. Available: http://ec.europa.eu/environment/waste/construction_demolition.htm.
- [41] A. B. of Statistics, "Construction and the environment," *Australian Bureau of Statistics*. [Online]. Available: <http://www.abs.gov.au/ausstats/abs@.nsf/featurearticlesbytitle/17A5995C5D55BBBDCA256CAE0015F653?OpenDocument>. [Accessed: 20-Jun-2002].
- [42] C. Jeffrey, "Construction and Demolition Waste Recycling A Literature Review, Office of Sustainability, Dalhousie University," pp. 1–35, 2011.
- [43] H. Arslan, N. Coşgun, and B. Salgın, "Construction and Demolition Waste Management in Turkey," *Heavy Met. Remov. with Phytoremediation*, vol. i, no. tourism, p. 13, 2016.
- [44] V. Monier, S. Mudgal, M. Hestin, and S. Mimid, "SERVICE CONTRACT ON

- MANAGEMENT OF CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE,” 2011.
- [45] A. G. Department of Sustainability, Environment, Water, Population and Communities, “Construction and Demolition Waste Guide - Recycling and Re-Use Across the Supply Chain,” *Dep. Sustain. Environ. Water, Popul. Communities*, Aust. Gov., p. 54, 2012.
- [46] A. M. ThorasA, “Global Ceramics Market Will Reach \$502.8 Billion By 2020: Radiant Insights, Inc.,” *The MarketWatch*. [Online]. Available: <http://www.marketwatch.com/story/global-ceramics-market-will-reach-5028-billion-by-2020-radiant-insights-inc-2015-08-04-82033157>. [Accessed: 20-Jul-2003].
- [47] European Commission, “Reference Document on Best Available Techniques in the Ceramic Manufacturing Industry,” *Ceram. Manuf. Ind.*, no. August, pp. 210–211, 2007.
- [48] L. Black, “Low clinker cement as a sustainable construction material,” *Sustain. Constr. Mater.*, pp. 415–457, 2016.
- [49] A. Juan, C. Medina, M. I. Guerra, J. M. M. Morán, P. J. Aguado, M. I. S. De Rojas, M. Frías, O. Rodríguez, M. Isabel, S. De Rojas, M. Frías, and O. Rodríguez, “Re-Use of ceramic wastes in construction,” *Recycl. Process. Costs Benefits*, pp. 271–284, 2011.
- [50] IPCC, *JRC REFERENCE REPORT Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Non-Ferrous Metals Industries*, no. October. 2014.
- [51] Z. Luo and A. Soria, *Prospective study of the world aluminium industry*, vol. 22951. 2008.
- [52] European Aluminium Association, “Environmental Profile Report for the European Aluminium Industry April 2013- Data for the year 2010,” no. April, p. 78, 2013.
- [53] World Aluminium, “Primary Aluminium Production.” .
- [54] CEPS and Economisti Associati, “Assessment of cumulative cost impact for

- the steel industry,” no. June 2013, 2013.
- [55] P. E. Tsakiridis, “Aluminium salt slag characterization and utilization - A review,” *J. Hazard. Mater.*, vol. 217–218, pp. 1–10, 2012.
- [56] A. Gil and S. A. Korili, “Management and valorization of aluminum saline slags: Current status and future trends,” *Chem. Eng. J.*, vol. 289, pp. 74–84, 2016.
- [57] Commission Decision, “Commission Decision of 18 December 2014 amending Decision 2000/532/EC on the list of waste pursuant to Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council (Text with EEA relevance,” *Off. J. Eur. Union*, vol. L 370, no. 440, pp. 44–86, 2014.
- [58] World Steel Association, “Steel Statistical Yearbook,” *World Steel Assoc.*, p. 121, 1987.
- [59] JRC (Joint Research Centre), “Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Iron and Steel Production,” 2010.
- [60] W. S. Association, “INDIRECT TRADE IN STEEL March 2015,” no. March, 2015.
- [61] World Steel Association, “Steel and Raw materials,” vol. 15, no. 4, pp. 710–739, 2016.
- [62] Dokuz Eylül Üniversitesi, “Elektrik Ark Ocakları, SEKTÖREL UYGULAMA KILAVUZU.”
- [63] V. Z. Serjun, A. Mladenovič, B. Mirtič, A. Meden, J. Ščančar, and R. Milačič, “Recycling of ladle slag in cement composites: Environmental impacts,” *Waste Manag.*, vol. 43, pp. 376–385, 2015.
- [64] R. I. Iacobescu, G. N. Angelopoulos, P. T. Jones, B. Blanpain, and Y. Pontikes, “Ladle metallurgy stainless steel slag as a raw material in Ordinary Portland Cement production: A possibility for industrial symbiosis,” *J. Clean. Prod.*, vol. 112, pp. 872–881, 2016.
- [65] The European Slag Association, “Position Paper on the Status of Ferrous Slag,” 2012.

- [66] European Commission, "Cement and Lime." [Online]. Available: https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/industries/non-metals/cement-lime_en.
- [67] TOBB, *Türkiye Çimento ve Çimento Ürünleri Meclisi Sektör Raporu 2012*. .
- [68] European Commission, *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Cement, Lime and Magnesium Oxide*. 2013.
- [69] (CSI / ECRA-Technology Papers), "Development of State of the Art-Techniques in Cement Manufacturing : Trying to Look Ahead (CSI / ECRA-Technology Papers) Final Draft 31 March 2009," no. March, 2017.
- [70] Türkiye Hazır Beton Birliği, "Dünyada Sektör." [Online]. Available: <http://www.thbb.org/sector/dunyada-sektor/>.
- [71] I. F. C. IFC, "Environmental , Health , and Safety Guidelines for Ceramic Tile and Sanitary Ware Manufacturing," *Corrosion*, pp. 1–14, 2007.
- [72] B. Radar, "European Construction Market Forecast from 2015-2020." [Online]. Available: <https://buildingradar.com/construction-blog/european-construction-market-forecast>.
- [73] Glass for Europe, "EU waste legislation & building glass recycling," no. March, 2014.
- [74] G. Van Marcke De Lummen and N. Schreuder, "Recycling of Glass from Construction & Demolition Waste Views from the flat glass industry," no. June, 2013.
- [75] A. Marcu, F. Genoese, A. Renda, J. Wierzchowicz, S. Roth, F. Infelise, G. Luchetta, L. Colantoni, W. Stoefs, J. Timini, and F. Simonelli, *Composition and Drivers of Energy Prices and Costs in Energy Intensive Industries: The Case of Ceramics, Flat Glass and Chemical Industries Prepared for the Directorate General for Enterprise and Industry Christian Egenhofer and Lorna Schrefler (Team Lead*, no. 85. 2014.
- [76] G. Sezzi and C. Ceramica, "The ceramic tile market in Europe," 2010.
- [77] L. Baraldi, "World production and consumption of ceramic tiles," *Ceram. world*

- Rev.*, vol. 113, pp. 48–61, 2015.
- [78] V. Santen, “OECD Global Forum on Environment Focusing on Sustainable Materials Case Study 2 : Aluminium,” *Environment*, no. October, p. 66, 2010.
- [79] W. A. Association, “Global Mass Flow Model (2014 draft),” 2015. [Online]. Available: <http://www.world-aluminium.org/publications/>.
- [80] World Aluminium Association, “Regional Mass Flow Model (2014 draft),” 2015. [Online]. Available: <http://www.world-aluminium.org/publications/>.
- [81] World Steel Association, “A healthy economy needs a healthy steel industry providing employment and driving growth.” [Online]. Available: <https://www.worldsteel.org/about-steel/steel-industry-key-messages/healthy-economy.html>. [Accessed: 20-Jun-2005].
- [82] D. N. Huntzinger and T. D. Eatmon, “A life-cycle assessment of Portland cement manufacturing: comparing the traditional process with alternative technologies,” *J. Clean. Prod.*, vol. 17, no. 7, pp. 668–675, 2009.
- [83] P. E. Tsakiridis, G. D. Papadimitriou, S. Tsvilis, and C. Koroneos, “Utilization of steel slag for Portland cement clinker production,” *J. Hazard. Mater.*, vol. 152, no. 2, pp. 805–811, 2008.
- [84] R. I. Iacobescu, D. Koumpouri, Y. Pontikes, R. Saban, and G. N. Angelopoulos, “Valorisation of electric arc furnace steel slag as raw material for low energy belite cements,” *J. Hazard. Mater.*, vol. 196, pp. 287–294, 2011.
- [85] S. Hosseini, S. M. Soltani, P. S. Fennell, T. S. Y. Choong, and M. K. Aroua, “Production and applications of electric-arc-furnace slag as solid waste in environmental technologies: a review,” *Environ. Technol. Rev.*, vol. 5, no. 1, pp. 1–11, 2016.
- [86] A. Sáez-De-Guinoa Vilaplana, V. J. Ferreira, A. M. López-Sabirón, A. Aranda-Usón, C. Lausín-González, C. Berganza-Conde, and G. Ferreira, “Utilization of Ladle Furnace slag from a steelwork for laboratory scale production of Portland cement,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 94, pp. 837–843, 2015.

- [87] O. Zimbili, W. Salim, and M. Ndambuki, "A Review on the Usage of Ceramic Wastes in Concrete Production," vol. 0001, no. 1, pp. 91–95, 2014.
- [88] N. Ay, "The use of waste ceramic tile in cement production," *Science (80-.)*., vol. 30, pp. 497–499, 2000.
- [89] A. E. Lavat, M. A. Trezza, and M. Poggi, "Characterization of ceramic roof tile wastes as pozzolanic admixture," *Waste Manag.*, 2009.
- [90] D. A. Pereira, B. De Aguiar, F. Castro, M. F. Almeida, and J. A. Labrincha, "Mechanical behaviour of Portland cement mortars with incorporation of Al-containing salt slags," *Cem. Concr. Res.*, vol. 30, no. 7, pp. 1131–1138, 2000.
- [91] S. Buntenbach, G. Merker, and K. Bruch, "About the reclamation of Aluminium salt slag / salt cake / black dross," no. August, 2013.
- [92] M. C. Bignozzi, A. Sacconi, L. Barbieri, and I. Lancellotti, "Glass waste as supplementary cementing materials: The effects of glass chemical composition," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 55, pp. 45–52, 2015.
- [93] S.B.Marinkovic, *Life cycle assessment (LCA) aspects of concrete*. 2013.
- [94] S. Monosi, M. L. Ruello, and D. Sani, "Electric arc furnace slag as natural aggregate replacement in concrete production," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 66, pp. 66–72, 2016.
- [95] F. Faleschini, P. De Marzi, and C. Pellegrino, "Recycled concrete containing EAF slag: Environmental assessment through LCA," *Eur. J. Environ. Civ. Eng.*, vol. 18, no. 9, pp. 1009–1024, 2014.
- [96] E. Vejmelková, T. Kulovaná, M. Keppert, P. Konvalinka, M. Ondráček, M. Sedlmajer, and R. Černý, "Application of Waste Ceramics as Active Pozzolana in Concrete Production," vol. 28, pp. 132–136, 2012.
- [97] E. A. Agrawal, V. Srivastava, E. A. Harison, and S. Suryavanshi, "Review Article Use of Ceramic and Plastic Waste in Concrete : a Review," vol. 4, no. 3, 2016.
- [98] A. Shayan and A. Xu, "Value-added utilisation of waste glass in concrete," *Cem. Concr. Res.*, vol. 34, no. 1, pp. 81–89, 2004.

- [99] Y. Jani and W. Hogland, "Waste glass in the production of cement and concrete - A review," *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 2, no. 3, pp. 1767–1775, 2014.
- [100] V. S. Deshmukh, "A NOVEL APPROACH TOWARDS GREEN BELITE," no. December, 2016.
- [101] L. Rondi, G. Bregoli, S. Sorlini, L. Cominoli, C. Collivignarelli, and G. Plizzari, "Concrete with EAF steel slag as aggregate: A comprehensive technical and environmental characterisation," *Compos. Part B Eng.*, vol. 90, pp. 195–202, 2016.
- [102] M. N. Amin, K. Khan, M. U. Saleem, N. Khurram, and M. U. K. Niazi, "Influence of mechanically activated electric arc furnace slag on compressive strength of mortars incorporating curing moisture and temperature effects," *Sustain.*, vol. 9, no. 8, pp. 1–27, 2017.
- [103] M. Mancio, A. P. Kirchheim, and A. B. Masuero, "Use of high-calcium Ladle slag as a partial limestone substitute for clinker manufacturing with reduced CO₂ emissions," *XIII ICCC – Int. Congr. Chem. Cem.*, no. July, 2011.
- [104] E. B. da Costa, T. R. S. Nobre, A. Q. Guerreiro, M. Mancio, and A. P. Kirchheim, "Clínquer Portland com reduzido impacto ambiental," *Ambient. Construído*, vol. 13, no. 2, pp. 75–86, 2013.
- [105] C. Shi and S. Hu, "Cementitious properties of ladle slag fines under autoclave curing conditions," *Cem. Concr. Res.*, vol. 33, no. 11, pp. 1851–1856, 2003.
- [106] G. Chen, H. Lee, K. L. Young, P. L. Yue, A. Wong, T. Tao, and K. K. Choi, "Glass recycling in cement production-an innovative approach," *Waste Manag.*, vol. 22, no. 7, pp. 747–753, 2002.
- [107] A. Karamberi, E. Chaniotakis, D. Papageorgiou, and A. Moutsatsou, "Influence of glass cullet in cement pastes," *China Particuology*, vol. 4, no. 5, pp. 234–237, 2007.
- [108] M. J. Terro, "Properties of concrete made with recycled crushed glass at elevated temperatures," *Build. Environ.*, vol. 41, no. 5, pp. 633–639, 2006.

- [109] K. Dvořák, D. Dolák, and P. Dobrovolný, "The Improvement of the Pozzolanic Properties of Recycled Glass during the Production of Blended Portland Cements," *Procedia Eng.*, vol. 180, pp. 1229–1236, 2017.
- [110] N. Schwarz, H. Cam, and N. Neithalath, "Influence of a fine glass powder on the durability characteristics of concrete and its comparison to fly ash," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 30, no. 6, pp. 486–496, 2008.
- [111] A. A. Aliabdo, A. E. M. Abd Elmoaty, and A. Y. Aboshama, "Utilization of waste glass powder in the production of cement and concrete," *Constr. Build. Mater.*, vol. 124, pp. 866–877, 2016.
- [112] E. Petavratzi and S. Wilson, "Residues from aluminium dross recycling in cement," *Processing*, no. November, pp. 1–8, 2007.
- [113] M. Satish Reddy and D. Neeraja, "Aluminum residue waste for possible utilisation as a material: a review," *Sadhana - Acad. Proc. Eng. Sci.*, vol. 43, no. 8, pp. 1–8, 2018.
- [114] W. S. Amarasinghe, I. Husum, and L. A. Tokheim, "Waste heat availability in the raw meal department of a cement plant," *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 11, pp. 1–14, 2018.
- [115] F. Puertas, I. García-Díaz, A. Barba, M. F. Gazulla, M. Palacios, M. P. Gómez, and S. Martínez-Ramírez, "Ceramic wastes as alternative raw materials for Portland cement clinker production," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 30, no. 9, pp. 798–805, 2008.
- [116] A. E. Lavat, M. A. Trezza, and M. Poggi, "Characterization of ceramic roof tile wastes as pozzolanic admixture," *Waste Manag.*, vol. 29, no. 5, pp. 1666–1674, 2009.
- [117] F. Debieb and S. Kenai, "The use of coarse and fine crushed bricks as aggregate in concrete," *Constr. Build. Mater.*, vol. 22, no. 5, pp. 886–893, 2008.
- [118] I. B. Topçu and T. Bilir, "Experimental investigation of drying shrinkage cracking of composite mortars incorporating crushed tile fine aggregate," *Mater. Des.*, vol. 31, no. 9, pp. 4088–4097, 2010.

- [119] Statista, "Average prices for iron ore worldwide." [Online]. Available: <https://www.statista.com/statistics/675857/average-prices-iron-ore-worldwide/%0A>.
- [120] VividEconomics, "Case Studies," no. June, 2014.
- [121] Statista, "Average Price of Common Clay." [Online]. Available: <https://www.statista.com/statistics/248190/average-price-of-common-clay/%0A>.
- [122] D. Production, N. Carolina, and N. T. Relations, "SAND AND GRAVEL (INDUSTRIAL) 1 SAND AND GRAVEL (INDUSTRIAL)," vol. 1, no. 703, pp. 2018–2019, 2018.
- [123] Statista, "Wallboard Products Crude Price in the US." [Online]. Available: <https://www.statista.com/statistics/219363/wallboard-products-crude-price-in-the-us/%0A>.
- [124] Statista, "US Prices of Cement." [Online]. Available: <https://www.statista.com/statistics/219339/us-prices-of-cement/%0A>.
- [125] E. D. FRED, Federal Reserve Bank of St. Louis, "Producer Price Index by Industry: Ready-Mix Concrete Manufacturing." [Online]. Available: <https://fred.stlouisfed.org/series/PCU327320327320C%0A>.
- [126] Statista, "Average price of sand and gravel." [Online]. Available: <https://www.statista.com/statistics/219381/sand-and-gravel-prices-in-the-us/%0A>.
- [127] SA Water, "Water Prices." [Online]. Available: <https://www.sawater.com.au/accounts-and-billing/current-water-and-sewerage-rates/residential-water-supply>.
- [128] Eurostat Statistics Explained, "Electricity prices for non-household consumers." [Online]. Available: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Electricity_price_statistics#Electricity_prices_for_non-household_consumers%0A.
- [129] Statista, "Thermal Coal Prices." [Online]. Available:

<https://www.statista.com/statistics/214236/thermal-coal-prices-since-2003/>.

- [130] Eurostat Statistics Explained, “Natural Gas Prices For Non-ousehold Consumers.” [Online]. Available: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Natural_gas_price_statistics#Natural_gas_prices_for_non-household_consumers.
- [131] T. REPORT FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, T. E. E. A. S. C. A. T. COUNCIL, and C. O. T. REGIONS, “Energy prices and costs in Europe,” 2019.
- [132] CE Delft, Infrac, and Fraunhofer ISI, “External Costs of Transport in Europe Update Study for 2008,” *CE Delft, INFRAS, Fraunhofer ISI*, no. September, p. 161, 2011.
- [133] European Environment Agency (EEA), “External Costs of Transport Figure 1- Total External costs in EUR 17 by transport mode according to INFRAS-IWW (2000) Figure 2 Average external costs 1995 (EUR 17) by means of transport and cost category: Passenger transport (without congestion costs),” pp. 1–13, 2001.
- [134] L. Delgado, A. S. Catarino, P. Eder, D. Litten, Z. Luo, and A. Villanueva, *End of waste criteria, final report.*, vol. 14, no. 3. 2008.
- [135] H. W. Gershman, “Waste Conversion Market Update,” *Renew. Energy From Waste*, pp. 1–19, 2017.
- [136] V. Santen, “Towards more efficient logistics: increasing load factor in a shipper’s road transport,” vol. 104, 1983.
- [137] F. Puer[1] F. Puertas, I. García-Díaz, A. Barba, M. F. Gazulla, M. Palacios, M. P. Gómez, and S. Martínez-Ramírez, “Ceramic wastes as alternative raw materials for Portland cement clinker production,” *Cem. Concr. Compos.*, vol. 30, no. 9, pp. 798–805, 2008.ta, I. García-Díaz, A. Barba, M. F. Gazulla, M. Palacios, M. P. Gómez, and S. Martínez-Ramírez, “Ceramic wastes as alternative raw materials for Portland cement clinker production,” *Cem. Concr. Compos.*, vol. 30, no. 9, pp. 798–805, 2008.

- [138] M. I. Sánchez De Rojas, M. Frías, O. Rodríguez, S. R. Ferreira, and J. Olmeda, "Waste Clay Materials as Pozzolanic Additions," *1st Spanish Natl. Conf. Adv. Mater. Recycl. Eco – Energy Madrid*, no. November, pp. 12–13, 2009.
- [139] ERMCO, "Ready-mixed concrete industry statistics. Year 2013," no. July, p. 21, 2014.
- [140] Cembureau, "2017 Activity Report," 2017.

EKLER

EK1 Çalışma kapsamındaki atıkların Avrupa ve Türkiye'deki ortalama yıllık miktarları

	EAO cürufu	Pota Cürufu	Al₂O₃	Kalsine kil	İYY-Cam
Ülke	(Kt/yıl)	(Kt/yıl)	(Kt/yıl)	(Kt/yıl)	(Kt/yıl)
Belçika	295,65	70,96		4,00	55,10
Çek Cumhuriyeti	44,55	10,69	0,75	30,00	73,50
Almanya	1.630,20	391,25	39,59	57,00	362,00
Macaristan	23,25	5,58	2,49	15,00	50,60
İtalya	2.147,81	515,48	33,12	368,00	231,55
İspanya	1.251,38	300,33	12,09	324,40	156,70
İsveç	178,88	42,93	1,59	1,00	51,15
Türkiye	2.966,50	711,96	7,46	205,00	343,20
Birleşik Krallık	243,51	58,44	9,85	8,80	495,50
Avusturya	86,90	20,86	7,46	1,00	33,00
Bulgaristan	75,00	18,00	0,65	22,50	39,00
Kıbrıs					3,65
Danimarka			1,24	0,90	26,35
Estonya				0,90	7,55

Finlandiya	157,70	37,85	1,79	1,00	26,05
Fransa	686,26	164,70	11,04	29,20	428,25
Yunanistan	125,00	30,00	0,15	9,60	55,20
İrlanda				1,30	12,70
Letonya				0,80	11,60
Litvanya				3,60	17,25
Lüksemburg	275,00	66,00			3,35
Hollanda	15,75	3,78	1,24	10,20	119,50
Polonya	438,60	105,26	0,95	113,00	190,95
Portekiz	262,50	63,00	0,90	63,00	57,10
Romanya	166,40	39,94	0,55	13,80	108,55
Slovakya	45,24	10,86		11,50	26,90
Slovenya	75,00	18,00	1,00	8,50	10,00
GENEL TOPLAM	11.191,10	2.685,86	133.86	1.301,76	3.000,25

EK 2 Senaryoların veri matrisi

		ÇİMENTO									BETON								
	Girdiler (ton/ton ürün)	Baz üreti m	1a_1	1a_2	1b_1	1b_2	1b_3	1c_1	1d_1	1d_2	Baz üretim	2a_1	2b_1	2b_2	2b_3	2c_1	2c_2	2d_1	2d_2
İkincil Hammaddeler	EAO Cürufu	0	0,14	0	0	0	0	0	0	0	0	0,203	0	0	0	0	0	0	0
	Pota Cüruf	0	0	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Kalsine kil	0	0	0	0,139	0,06	0,10	0	0	0	0	0	0,082	0,102	0,020	0	0	0	0
	Al2O3	0	0	0	0	0	0	0,139	0	0	0	0	0	0	0	0,013	0,110	0	0
	Cam	0	0	0	0	0	0	0	0,006 8	0,139	0	0	0	0	0	0	0	0,013	0,027
Birincil Hammaddeler	Kalker	1,41	1,269	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Kil	0,139	0,139	0,139	0	0,139	0,139	0	0,139	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Kum	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,027	0,034	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Demir cevheri	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Alçıtaşı	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Çimento	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,131	0,131	0,131	0,131	0,112	0,118	0,131	0,118	0,131
	İnce agrega	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,274	0,274	0,192	0,274	0,274	0,274	0,165	0,274	0,247
	Kalın agrega	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,509	0,305	0,509	0,407	0,509	0,509	0,509	0,509	0,509
	Su	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,075	0,075	0,075	0,075	0,075	0,075	0,075	0,075	0,075
Senaryonun optimal üretim miktarı (ton)			x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8		x9	x10	x11	x12	x13	x14	x15	x16
Senaryo maliyeti (Euro/ton)			133	147	142	147	146	143	49	143		16	23	22	24	25	22	25	26

EK 3 MATLAB Çözümü

```
f= [133 147 142 147 146 143 149 143 16 23 22 24 25 22 25 26]
```

```
A= [-0.14 0 0 0 0 0 0 0 -0.203 0 0 0 0 0 0 0;0 -0.06 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0;0 0 -  
0.139 -0.06 -0.10 0 0 0 0 -0.082 -0.102 -0.020 0 0 0 0 0;0 0 0 0 0 -0.139 0 0 0 0 0 0 -  
0.013 -0.110 0 0;0 0 0 0 0 0 -0.0068 -0.139 0 0 0 0 0 0 -0.013 -0.027]
```

```
b=[-18750 -46800 -4000 -15600 -30000]
```

```
Aeq=[1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0; 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1]
```

```
beq=[2000000 600000]
```

```
lb=[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
```

```
ub=[]
```

```
[X,Z]=linprog(f,A,b,Aeq,beq,lb,ub)
```

```
f =
```

```
133 147 142 147 146 143 149 143 16 23 22 24 25 22 25  
26
```

```
A =
```

```
Columns 1 through 14
```

```
-0.1400 0 0 0 0 0 0 0 -0.2030 0 0  
0 0 0  
0 -0.0600 0 0 0 0 0 0 0 0 0  
0 0 0
```

0 0 -0.1390 -0.0600 -0.1000 0 0 0 0 -0.0820 -
 0.1020 -0.0200 0 0

0 0 0 0 0 -0.1390 0 0 0 0 0
 0 -0.0130 -0.1100

0 0 0 0 0 0 -0.0068 -0.1390 0 0 0
 0 0 0

Columns 15 through 16

0 0

0 0

0 0

0 0

-0.0130 -0.0270

b =

-18750 -46800 -4000 -15600 -30000

Aeq =

1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1

beq =

2000000 600000

lb =

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

ub =

[]

Optimization terminated.

X =

1.0e+06 *

1.0042

0.7800

0.0000

0.0000

0.0000

0.0000

0.0000

0.2158

0.4190

0.0000

0.0392

0.0000

0.0000

0.1418

0.0000

0.0000

Z =

2.8976e+08



HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS/~~DOKTORA~~ TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
TEMİZ TÜKENMEZ ENERJİLER ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 04/10/2019

Tez Başlığı / Konusu: KAYNAK YOĞUN SEKTÖRLER ARASINDA ENDÜSTRİYEL SİMBİYOZ YAKLAŞIMI İLE AKIŞ MODELLEMESİ VE OPTİMİZASYONU

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 108 sayfalık kısmına ilişkin, 03/10/2019 tarihinde ~~sehem~~/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 3 'tür.

Uygulanan filtrelemeler:

- 1- Kaynakça hariç
- 2- Alıntılar ~~hariç~~/dâhil
- 3- 5 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Çalışması Orjinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

04.10.19

Tarih ve İmza

Adı Soyadı: ZEYNEP GÖKÇE YILGIN
Öğrenci No: 14220609
Anabilim Dalı: TEMİZ TÜKENMEZ ENERJİLER
Programı: TEMİZ TÜKENMEZ ENERJİLER YÜKSEK LİSANS
Statüsü: Y.Lisans Doktora Bütünleşik Dr.

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.

Doç. Dr. Merih Aydınalp Köksal

(Unvan, Ad Soyad, İmza)

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Zeynep Gökçe Yılğın
Doğum yeri : Ankara
Doğum tarihi : 15.02.1987
Medeni hali : Evli
Yazışma adresi : Esentepe mah. Ufuk sok. 16/4 Yenimahalle ANKARA
Telefon : 05538065796
Elektronik posta adresi : zeynepgokce26@hotmail.com
Yabancı dili : İngilizce

EĞİTİM DURUMU

Lisans : Gazi Üniversitesi ,Endüstri Mühendisliği, 2012
Yüksek Lisans : Hacettepe Üniversitesi, Temiz Tükenmez Enerjiler,(2019)
Doktora :

İş Tecrübesi

2017-... Hidromek Mak. Ve İmalat Sanayi A.Ş.-Proje Uzmanı
2015-2017 Ekodenge Müh. Mim. A.Ş. –Proje Uzmanı
2012- 2014 Formmetal Mak. Sanayi A.Ş.-Üretim Yöneticisi