

T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

SERAMİK SANAYİDE KAYNAK VERİMLİLİĞİ VE TEMİZ ÜRETİM

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YAĞMUR ÇELİK SAYDAM

TEZ DANIŐMANI
DOÇ. DR. BURÇİN ATILGAN TÜRKMEN

İKİNCİ TEZ DANIŐMANI
DOÇ. DR. RAHMİYE ZERRİN YARBAY

BİLECİK, 2025

10700688

T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

SERAMİK SANAYİDE KAYNAK VERİMLİLİĞİ VE TEMİZ ÜRETİM

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YAĞMUR ÇELİK SAYDAM

TEZ DANIŐMANI
DOÇ. DR. BURÇİN ATILGAN TÜRKMEN

İKİNCİ TEZ DANIŐMANI
DOÇ. DR. RAHMİYE ZERRİN YARBAY

BİLECİK, 2025

10700688

BEYAN

‘Seramik Sanayide Kaynak Verimliliği Ve Temiz Üretim’ adlı yüksek lisans tezinin hazırlık ve yazımı sırasında bilimsel araştırma ve etik kurallarına uyduğumu, başkalarının eserlerinden yararlandığım bölümlerde bilimsel kurallara uygun olarak atıfta bulunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, tezin herhangi bir kısmının Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını, aksinin tespit edileceği muhtemel durumlarda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Bu çalışmanın, Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP), TÜBİTAK veya benzeri kuruluşlarca desteklenmesi durumunda; projenin ve destekleyen kurumun adı proje numarası ile birlikte, ETİK KURUL onayı alınması durumunda ise ETİK KURUL tarih karar ve sayı bilgilerinin beyan edilmesi gerekmektedir.			
DESTEK ALINMIŞTIR		DESTEK ALINMAMIŞTIR	×
Destek alındı ise;			
Destekleyen kurum;			
Desteğin Türü		Proje Numarası	
1- BAP (Bilimsel Araştırma Projesi)			
2- TÜBİTAK			
Diğer;.....			
ETİK KURUL onayı var ise;			
ETİK KURUL karar tarih/sayı:	/.....	

Öğrenci Adı ve Soyadı

Yağmur ÇELİK SAYDAM

Tarih

.....

İmza

ÖN SÖZ

Bu tez çalışması, “Seramik Sanayide Kaynak Verimliliği ve Temiz Üretim” başlıklı bir araştırmanın ürünüdür. Çalışma sürecinde elde edilen bulguların hem akademik dünyaya hem de seramik sektöründeki sürdürülebilirlik yaklaşımlarına katkı sağlaması hedeflenmiştir.

Bu çalışmanın hazırlanması sürecinde beni destekleyen, rehberlik eden ve fikirleriyle çalışmama yön veren değerli danışman hocalarım Doç. Dr. Burçin Atılğan Türkmen ve Doç. Dr. Rahmiye Zerrin Yarbay’a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Akademik birikimleri ve rehberlikleri, bu tezin her aşamasında ışık tutmuştur.

Ayrıca, üzerimdeki emeği hiçbir zaman yadsınamayacak olan sevgili annem Gülay Çelik ve babam Oğuz Çelik’e, beni her zaman destekleyerek cesaretlendirdikleri ve sevgilerini hep hissettirdikleri için şükranlarımı sunarım. Bu süreçte her daim yanımda olan ve motivasyon kaynağım olan sevgili eşim Musa Saydam’a da en içten teşekkürlerimi iletmem isterim.

Son olarak, bu çalışmada kullanılan kaynakların yazarlarına da minnettarlığımı ifade etmek isterim. Onların emekleri, bu tezin bilimsel zeminini oluşturmuştur.

Desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen herkese en derin teşekkürlerimle...

Yağmur ÇELİK SAYDAM

2025

ÖZET

SERAMİK SANAYİDE KAYNAK VERİMLİLİĞİ VE TEMİZ ÜRETİM

Bu tez çalışmasında, seramik sektöründe çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşılması için mevcut üretim süreçlerinin yeniden değerlendirilmesi ve iyileştirme yöntemlerinin uygulanabilirliği araştırılmıştır. Çalışmada, sektörün temel çevresel sorunları olan enerji tüketimi, su yönetimi, atık oluşumu ve sera gazı emisyonları detaylı şekilde ele alınmıştır. Araştırma, özellikle seramik üretim süreçlerine yönelik özgün analizlere ve fabrikalardan elde edilen verilere dayanmaktadır. Metot kısmında, seramik sektöründeki üretim süreçlerinden elde edilen ham madde ve enerji tüketim verileri analiz edilmiş, bu süreçlerde kullanılan malzemelerin miktarları ve bunların çevresel etkileri hesaplanmıştır. Kütle ve enerji denkliği hesaplamalarıyla, üretim süreçlerindeki kaynak kullanımı verimliliği incelenmiş olup bu hesaplamalar sektörün çevresel sürdürülebilirlik performansının iyileştirilmesi için temel oluşturmuştur. Çalışmada, su yönetimine yönelik iyileştirme yöntemlerine vurgu yapılmış olup kapalı devre su sistemlerinin kullanımı ile, su tüketiminin optimize edilmesini sağlarken üretim süreçlerinde suyun kimyasal arıtma ve membran filtrasyon yöntemleriyle geri dönüşümü, su kaynakları üzerindeki baskıyı azaltarak ekonomik ve çevresel faydalar sağlayacağı görülmüştür. Enerji tüketimi açısından ise, hibrit fırın sistemlerinin kullanımı ve atık ısı geri kazanım teknolojilerinin entegrasyonu sayesinde, üretim süreçlerindeki karbon emisyonlarının azaltılmasına katkıda bulunulmuştur. Metot kısmında yapılan analizler ile, bu tür yenilikçi teknolojilerin uygulanmasıyla üretim maliyetlerinin düşürülmesinin yanı sıra çevresel etkilerin de minimuma indirilebileceği gösterilmiştir. Atık yönetimi konusunda, pişmiş ve pişmemiş seramik atıklarının geri dönüşümü ve endüstriyel simbiyoz projeleri kapsamında atık cam, metal çürüğü ve uçucu kül gibi malzemelerin değerlendirilmesi, üretimde döngüsel ekonomi uygulamalarını destekleyici niteliktedir. Bu süreçlerle hem doğal kaynak tüketiminin azalması hem de atık miktarının kontrol altına alınması mümkündür.

Sonuç olarak, çalışmada kullanılan metodolojik yaklaşım, seramik sektöründeki üretim süreçlerinin çevresel sürdürülebilirlik açısından değerlendirilmesi için kapsamlı bir çerçeve sunmaktadır. Elde edilen veriler ve hesaplamalar sayesinde, sektördeki mevcut sorunları ve çözüm önerilerini anlamada önemli bir temel sağlanmıştır. Bu açıdan önem taşıyan bu çalışma hem sektöre hem de akademik literatüre önemli katkılar sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Seramik Sektörü, Kaynak Verimliliği, Temiz Üretim, Çevresel Sürdürülebilirlik, Atık Yönetimi.

ABSTRACT

RESOURCE EFFICIENCY AND CLEANER PRODUCTION IN THE CERAMIC INDUSTRY

In this thesis, investigates the applicability of methods for re-evaluating and improving current production processes to achieve environmental sustainability goals in the ceramic sector. The study addresses the sector's core environmental challenges, such as energy consumption, water management, waste generation, and greenhouse gas emissions, in detail. The methodology relies on data obtained from factories focusing on ceramic production processes and specific analyses.

In the methods section, raw material and energy consumption in the production processes were analyzed. Mass and energy balances were calculated, and their environmental effects were assessed. The study also evaluated the efficiency of resource use in the production processes, with a focus on improving resource sustainability. The findings emphasize the significance of water and energy-saving techniques, including closed-loop systems. The optimization of production processes, the use of advanced chemical treatment and membrane filtration technologies, and the integration of waste heat recovery systems have proven effective in minimizing environmental impact. These technologies contributed to reducing carbon emissions from production processes.

The analysis also highlights the recycling of raw and fired ceramic waste, with industrial symbiosis projects incorporating materials like glass, metal slag, and fly ash, which support circular economic practices. These processes can reduce both natural resource consumption and waste generation to manageable levels.

In conclusion, the methodological approach provides a comprehensive framework for evaluating the environmental sustainability of production processes in the ceramic industry. The results and calculations offer a valuable foundation for solving existing challenges and generating sustainable solutions for the sector. The analyses presented support innovative applications that enhance resource efficiency while minimizing environmental effects. As such, this study is expected to make significant contributions to both the sector and the academic literature.

Keywords: Ceramic Sector, Resource Efficiency, Clean Production, Environmental Sustainability, Waste Management.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖN SÖZ.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
TABLolar LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
GRAFİKLER LİSTESİ.....	ix
KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ.....	x
1.GİRİŞ.....	1
2.SERAMİK SEKTÖRÜ.....	3
2.1 Küresel Seramik Sektörü.....	4
2.1.1 Çin.....	6
2.1.2 Hindistan.....	6
2.1.3 Brezilya.....	6
2.1.4 İspanya.....	7
2.1.5 İtalya.....	7
2.2 Türkiye’de Seramik Sektörü.....	7
3. SÜRDÜRÜLEBİLİR SERAMİK ÜRETİMİ.....	9
3.1 Enerji Verimliliği ve Yenilenebilir Enerji Kullanımı.....	9
3.2 Atık Yönetimi ve Döngüsel Ekonomi.....	9
3.2.1 Atıkların Geri Kazanımı ve Yeniden Kullanımı.....	10
3.2.2 Endüstriyel Simbiyoz ve Atık Değerlendirme.....	11
3.2.3 Yenilikçi Atık yönetim Teknikleri.....	11
3.2.4 Uluslararası Döngüsel Ekonomi Uygulamaları.....	11
3.2.5 Türkiye’de Döngüsel Ekonomi ve Atık Yönetimi.....	11
3.2.6 Ekonomik ve Çevresel Faydalar.....	12

3.3 Çevre Dostu Ham Maddelerin Kullanımı	12
3.3.1 Alternatif Ham Maddelerin Kullanımı.....	13
3.3.3 Endüstriyel Atıkların Değerlendirilmesi	13
3.3.4 Biyo-bazlı Ham Maddelerin Kullanımı	14
3.4 Su Tüketiminin Azaltılması	14
3.4.1 Kapalı Döngü Su Sistemleri.....	14
3.4.2 Su Geri Kazanım Teknolojileri.....	15
3.4.3 Kuru Üretim Teknikleri.....	15
3.4.4 Yağmur Suyu Hasadı.....	15
3.4.5 Çevresel ve Ekonomik Faydalar	15
3.5 Dijitalleşme ve Otomasyon	16
3.6 Sosyal Sürdürülebilirlik	16
4. SERAMİK SEKTÖRÜNÜN SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİ İLE İLGİLİ GÜNCEL LİTERATÜR ÖRNEKLERİ	18
4.1 Geri Dönüşüm ve Atık Yönetimi Çalışmaları	18
4.2 Enerji Verimliliği ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımı	19
4.3 Su Tüketimi ve Atıksu Yönetimi.....	19
4.4 Sera Gazı Emisyonları ve Karbon Yönetimi	20
4.5 Malzeme ve Ham Madde Kullanımı.....	20
5. MATERYAL VE METOT	22
5.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	22
5.2 Üretim Tesisi.....	22
5.3 Seramik Üretimi	23
6. HESAPLANAN GÖSTERGELER	36
6.1 Ham Madde Tüketimi	36
6.2 Enerji Tüketimi.....	40
6.3 Sera Gazı Emisyonu.....	42
6.4 Su Tüketimi	45
6.5 Atık Yönetimi	46

7. SONUÇLAR, TARTIŞMA VE ÖNERİLER.....	47
7.1 Sonuçlar	47
7.2 Tartışma.....	47
7.2.1 Ham Madde Tüketimi	47
7.2.2 Enerji Tüketimi.....	49
7.2.3 Sera Gazı Emisyonları.....	50
7.2.4 Su Tüketimi	52
7.2.5 Atık Yönetimi	52
7.3 Sürdürülebilir Üretim İçin İyileştirme Önerileri.....	53
7.3.1 Ham Madde Tüketimine Dair İyileştirmeler	53
7.3.2 Enerji Tüketimi İçin İyileştirmeler	54
7.3.3 Sera Gazı Emisyonunu Azaltmaya Yönelik İyileştirmeler	55
7.3.4 Atık Oluşumunu Azaltmaya Yönelik İyileştirmeler	56
7.3.5 Su Tüketimine Dair İyileştirmeler	58
7.4 Dünya’da İyi Uygulama Örnekleri.....	59
KAYNAKÇA	63
EKLER.....	69

TABLolar LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2. 1. Dünya seramik üretiminde öncü ülkelerin üretim kapasiteleri	5
Tablo 5. 1. Seramik fabrikasının 2023 yılına ait üretim verileri	23
Tablo 5. 2. Ham madde temin bölgelerine ait veriler	24
Tablo 5. 3. Aylara bağlı 2023 yılı su tüketimi	26
Tablo 5. 4. Çamur ham madde miktarları	27
Tablo 5. 5. Engob ham madde miktarları.....	31
Tablo 5. 6. Sır ham madde miktarları	33
Tablo 5. 7. Toplam yıllık enerji tüketimi	34
Tablo 5. 8. Dışarıdan aldığı atık çeşidi ve miktarı	34
Tablo 5. 9. Yıllara bağlı üretilen ve gönderilen atık	35
Tablo 6. 1. Ham madde girdileri	38
Tablo 6. 2. Tüm proses çıktıları	39
Tablo 6. 3. Net proses çıktıları	40
Tablo 6. 4. Üretim sürecinde tüketilen elektrik ve doğal gaz dağılımı	41

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 5. 1.Seramik üretimi proses akış şeması	25
Şekil 6. 1.Söz konusu tesis için kütle denklığı şeması	36
Şekil 6. 2.Söz konusu tesis için enerji denklığı şeması	41
Şekil 7. 1.Üretimin aşamalarında ortaya çıkan emisyon ve kirleticiler	51

GRAFİKLER LİSTESİ

	Sayfa
Grafik 2. 1. Dünya sermaik üretimi öncü ülkeler	8
Grafik 6. 1. Çamur ham madde dağılımı	37
Grafik 6. 2. Engob ham madde dağılımı	37
Grafik 6. 3. Sır ham madde dağılımı	38
Grafik 6. 4. Proses girdi dağılımı	39
Grafik 6. 5. Nihai ürün % grafiği	40
Grafik 6. 6. Toplam elektrik tüketiminin sürece % dağılımı	42
Grafik 6. 7. Toplam doğal gaz tüketiminin üretim sürecine % dağılımı	42
Grafik 6. 8. Sera gazının Kapsam I, II ve III olarak dağılımı	45
Grafik 6. 9. Su tüketiminin üretim sürecine % dağılımı	46

KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ

AI: Yapay Zekâ (Artificial Intelligence)

ASCER: Asociación Española de Fabricantes de Azulejos y Pavimentos Cerámicos

BAE: Birleşik Arap Emirlikleri

CO₂ eşd.: Karbon Dioksit Eşdeğeri

CO₂: Karbon Dioksit

COD: Kimyasal Oksijen İhtiyacı (Chemical Oxygen Demand)

FKA: Faaliyet Karbon Ayak İzi

GJ: Giga joule

GWh: Giga watt-saat

H₂O: Su

IoT: Nesnelerin İnterneti (Internet of Things)

ISO: Uluslararası Standardizasyon Örgütü (International Organization for Standardization)

ISO CO₂: Uluslararası Karbon Standardı

kWh: Kilowatt-saat

MSWI: Belediye Katı Atık Yakma (Municipal Solid Waste Incineration)

NH₄: Amonyum

NO_x: Azot Oksitler

t CO₂: Ton Karbon Dioksit

TİM: Türkiye İhracatçılar Meclisi

TKA: Toplam Karbon Ayak İzi

TS EN: Türk Standardı Avrupa Normu

YSH: Yağmur Suyu Hasadı

1.GİRİŞ

Seramik sektörü hem enerji hem de ham madde tüketimi açısından yoğun bir yapıya sahip olup, çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada stratejik bir öneme sahiptir. Bu sektör, iklim değişikliğiyle mücadelede temel alanlardan biri olarak değerlendirilmektedir. Sürdürülebilirlik ilkeleri doğrultusunda, enerji verimliliği ve atık yönetimi gibi çevresel performansı artırıcı uygulamalar, seramik üretim süreçlerinde kritik bir yer tutmaktadır (ETKB, 2018; Koyuncu et al., 2015). Aynı zamanda, Avrupa Yeşil Mutabakatı, seramik sektörünün çevre dostu üretim tekniklerini benimsemesini ve karbon ayak izini azaltmasını zorunlu hale getirmiştir (Avrupa Komisyonu, 2019).

Sektörde döngüsel ekonomi uygulamaları, kaynak kullanımında verimliliği artırmayı ve üretim süreçlerindeki atıkları yeniden değerlendirmeyi hedeflemektedir. Bu kapsamda, ham madde israfını önlemeye yönelik yenilikçi teknolojiler ve geri dönüşüm uygulamaları, seramik sektörünün çevresel etkilerini minimize etmede önemli fırsatlar sunmaktadır. Özellikle atık ısı geri kazanımı, yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu ve enerji yönetim sistemleri, sektörün sürdürülebilir bir yapıya kavuşmasında etkili olmaktadır (KB, 2023: 9).

Küresel seramik sektörü, üretim, tüketim ve ticaret hacmi bakımından dünyada hızlı büyüyen ve stratejik öneme sahip bir endüstridir. Dünya seramik karo üretiminde Çin, hem en büyük üretici hem de ihracatçı konumunda yer almakta ve küresel üretimin önemli bir kısmını karşılamaktadır. Hindistan, İspanya ve İtalya gibi ülkeler de seramik sektöründe öne çıkan diğer lider üreticilerdir. 2022 yılı verilerine göre, dünya seramik karo ihracatında Avrupa Birliği'nin %76,2'lik payla en büyük ihracat bölgesi olması dikkat çekmektedir. Bunun yanı sıra, ABD (Amerika Birleşik Devletleri), seramik karo ithalatında lider konumdadır (Turkish Ceramics, 2022: 12) . Türkiye de bu bağlamda küresel seramik sektöründe önemli bir ihracatçı olup, özellikle Avrupa, Orta Doğu ve Türk Cumhuriyetlerine yönelik pazarlarda rekabetçi bir konuma sahiptir (KB, 2023: 27).

Türkiye, seramik sektöründe gerek üretim kapasitesi gerekse ihracat potansiyeli açısından dünyada önemli bir konuma sahiptir. Bununla birlikte, sektörün enerji yoğun süreçlere sahip olması ve ham madde bağımlılığı, sürdürülebilir büyüme hedefleri doğrultusunda kapsamlı dönüşüm ihtiyacını ortaya koymaktadır. Türkiye'nin yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarını seramik üretim süreçlerine entegre etmesi, çevresel etkilerin azaltılması ve rekabet gücünün artırılması açısından kritik bir adımdır. Ayrıca, atık yönetiminde

döngüsellik prensiplerinin uygulanması, sektörün ekonomik ve çevresel sürdürülebilirliğine katkı sağlamaktadır (ÇŞB; TSF, 2019).

Türkiye'nin 10. Kalkınma Planı ve Sürdürülebilirlik Eylem Planı, seramik sektöründe temiz üretim uygulamalarını destekleyen politikalar içermektedir. Bu kapsamda, enerji verimliliği, karbon emisyonlarının azaltılması ve çevre dostu üretim teknolojilerinin teşvik edilmesi hedeflenmektedir. Ayrıca, ulusal ve uluslararası iş birlikleri, seramik sektörünün sürdürülebilir kalkınmaya entegrasyonunu hızlandırıcı bir etki yaratmaktadır. Söz konusu politikalar, sektörün küresel ölçekte rekabet gücünü artırırken çevresel sorumluluklarını da yerine getirmesini sağlamaktadır (KB, 2023; Koyuncu et al., 2015).

Bu bağlamda, seramik sektörünün sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşabilmesi, yalnızca enerji verimliliği ve çevre dostu üretim tekniklerinin benimsenmesiyle sınırlı kalmayıp, aynı zamanda yenilikçi malzeme teknolojilerinin ve dijital üretim süreçlerinin entegrasyonunu da içermektedir. Sektörde döngüsel ekonomiye geçişin hızlandırılması, karbon ayak izinin azaltılması ve rekabet gücünün artırılması için multidisipliner yaklaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışma, seramik sektörünün sürdürülebilirlik dönüşümüne katkıda bulunabilecek uygulamaları ve politikaları ele alarak sektöre yönelik haritalar sunmayı amaçlamaktadır.

2.SERAMİK SEKTÖRÜ

Seramik sektörü, insanlık tarihinin en eski endüstrilerinden biri olarak günümüzde ekonomik ve çevresel sürdürülebilirlik hedefleriyle modern üretim sistemlerine entegre olmuştur. Ham maddelerin dikkatli şekilde seçimi ve işlenmesi, enerji yönetimi ve atık geri kazanımı gibi süreçler, sektörün teknolojik ve çevresel gelişiminde kritik bir rol oynamaktadır. Seramik üretimi, ham madde temini, şekillendirme, kurutma, sırlama ve pişirme gibi temel aşamalardan oluşur. Geleneksel seramiklerde kil, kuvars ve feldspat gibi doğal malzemeler yaygın olarak kullanılmakta, ileri teknolojik seramiklerde ise daha saf ve sentetik bileşenler tercih edilmektedir. Modern teknolojiler, enerji verimliliği sağlamak ve ürün kalitesini artırmak amacıyla bu süreçlere önemli yenilikler katmıştır. Mikrodalga destekli pişirme ve atık ısı geri kazanımı, bu yenilikler arasında dikkat çeken uygulamalardır (KB, 2023).

Sürdürülebilirlik, seramik sektörünün geleceğini şekillendiren temel unsurlardan biridir. Atık yönetimi, sektörün çevresel etkilerini azaltmak ve ekonomik değer yaratmak için önemli bir araçtır. Geri dönüştürülmüş malzemelerin seramik üretim süreçlerine entegre edilmesi, doğal kaynak tüketimini azaltırken üretim maliyetlerini de düşürmektedir. Ayrıca, döngüsel ekonomi uygulamaları kapsamında suyun yeniden kullanımı ve enerji geri kazanımı gibi yöntemler hem çevresel hem de ekonomik faydalar sağlamaktadır (Koyuncu et al., 2015).

Seramik sektörü, enerji yoğun bir sektör olarak karbon yönetimi ve enerji verimliliği konusunda büyük ölçüde bir dönüşüm yaşamaktadır. Detaylı enerji etütleri ve düşük emisyonlu yakıtların kullanımı, bu dönüşümün temel unsurlarını oluşturmaktadır. Pişirme süreçlerinde alternatif yakıt kullanımı ve enerji geri kazanımı sistemlerinin sayesinde hem enerji maliyetleri azaltılmakta hem de sera gazı emisyonları düşürülmektedir. Yenilikçi çözümler arasında, hidrojene dayalı enerji sistemlerinin ve elektrikli fırınların test edilmesi yer almaktadır. Bu uygulamalar, sektörün karbon nötr hedeflerine ulaşmasına katkı sağlamaktadır (ETKB, 2018).

Türkiye, seramik sektöründe dünya genelinde önemli konumdadır. Seramik kaplama malzemeleri ve sağlık gereçleri, Türkiye'nin bu alandaki temel ürün gruplarıdır. Ülkemiz, yüksek üretim kapasitesi, kalite standartlarına uyum ve yenilikçi teknoloji yatırımlarıyla uluslararası pazarda güçlü bir rekabet avantajı sağlamaktadır. Onuncu Kalkınma Planı kapsamında belirlenen hedefler, sektördeki büyüme ve sürdürülebilirlik stratejilerini desteklemektedir. Ayrıca, yerel ve uluslararası iş birlikleri, sektörün daha geniş pazarlara erişimini kolaylaştırmaktadır (KB, 2023).

Seramik sektörü, teknolojik yenilikler ve sürdürülebilirlik uygulamalarıyla geleceğin endüstriyel ekosisteminde önemli bir rol oynamaktadır. Enerji verimliliği, döngüsel ekonomi ve çevresel sürdürülebilirlik hedefleri, sektörün hem ekonomik hem de çevresel etkilerini optimize etmeyi amaçlamaktadır. Türkiye'nin bu sektördeki konumu ve geliştirdiği stratejik hedefler, sektörü yalnızca ulusal düzeyde değil, uluslararası ölçekte de güçlü bir konuma taşımaktadır. Bu bağlamda, seramik sektörü hem tarihsel köklerini koruyan hem de modern dünyanın çevresel ve ekonomik taleplerine yanıt veren bir yapıya sahiptir (Villeroy & Boch, 2023:). Bu bağlamda, seramik sektörü hem tarihsel köklerini koruyan hem de modern dünyanın çevresel ve ekonomik taleplerine yanıt veren bir yapıya sahiptir.

2.1 Küresel Seramik Sektörü

Küresel seramik sektörü, geniş bir coğrafyada üretim ve tüketim dengeleriyle dünya ekonomisinin önemli bir parçasını oluşturmaktadır. Sektör, özellikle inşaat, sağlık gereçleri ve dekoratif ürünler gibi farklı alanlarda hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkeler için büyük bir ekonomik değer yaratmaktadır. Dünya genelinde seramik karo üretiminde öne çıkan ülkeler arasında Çin, Türkiye, Brezilya, Birleşik Arap Emirlikleri, Almanya, Hindistan, Suudi Arabistan ve Tayland gibi ülkeler almaktadır. Bu ülkeler, üretim kapasiteleri ve ihracat potansiyelleriyle küresel pazardaki dengeyi belirleyen başlıca etkenlerdir (CWR, 2023).

Çin, küresel seramik sektöründe tartışmasız lider konumundadır ve dünya üretiminin yaklaşık yarısını gerçekleştirmektedir. Ancak, Çin'in iç tüketime odaklı üretim yapısı, son yıllarda enerji tüketimi ve karbon emisyonları açısından uluslararası baskı altına girmesine neden olmuştur. Özellikle karbon nötr hedefleri doğrultusunda enerji verimliliği artırma ve çevre dostu üretim teknolojilerine geçiş için büyük yatırımlar yapılmaktadır. Türkiye ise seramik kaplama malzemeleri ve sağlık gereçleri üretiminde dünya sıralamasında önemli bir yere sahiptir (CWR, 2023).

Brezilya ve Hindistan, seramik sektöründe hızlı bir büyüme gösteren diğer iki önemli üretici ülkedir. Brezilya, zengin doğal kaynakları sayesinde düşük maliyetli ham madde teminiyle avantaj sağlarken, Hindistan özellikle iç pazarın büyüklüğü ve artan inşaat faaliyetleriyle dikkat çekmektedir. Almanya ise seramik sektöründe teknolojik yeniliklerin merkezi olarak kabul edilmektedir. İleri üretim teknolojileri ve sürdürülebilirlik odaklı çözümler, Alman seramik üreticilerinin dünya pazarındaki konumunu güçlendirmektedir (CWR, 2023).

Ortadoğu ve Kuzey Afrika bölgesinde yer alan Birleşik Arap Emirlikleri ve Suudi Arabistan gibi ülkeler, stratejik coğrafi konumları ve düşük üretim maliyetleriyle önemli ihracat merkezleri haline gelmiştir. BAE (Birleşik Arap Emirlikleri), 2018 yılında toplamda yaklaşık 219 milyon \$ değerinde seramik kaplama malzemesi ithal etmiş ve bu ithalatın büyük bir kısmını Çin, Hindistan ve İtalya gibi ülkelerden gerçekleştirmiştir. BAE, düşük enerji maliyetleri ve gelişmiş lojistik altyapısı ile seramik üretiminde avantajlıdır. Dubai ve Abu Dhabi gibi merkezler, seramik ürünlerinin depolanması ve dağıtımını için stratejik konumdadırlar (Çimento Cam Seramik İhracatçıları Birliği, 2020).

Küresel seramik sektörü, ülkeler arasında üretim kapasiteleri, ticaret dengeleri ve teknoloji kullanımı açısından önemli değişiklikler göstermektedir. ASCER (Asociación Española de Fabricantes de Azulejos y Pavimentos Cerámicos)'in 2023 raporuna göre, İspanya gibi ülkeler, seramik karo ihracatında kalite konusunda rekabeti sağlarken, enerji maliyetleri ve çevresel düzenlemeler bu ülkeler için zorluk oluşturmaktadır. Diğer yandan, Çin, Türkiye, Brezilya ve Hindistan gibi ülkeler, yüksek üretim kapasiteleri ve büyüyen iç pazarları sayesinde küresel seramik ticaretinde belirleyici rol oynamaktadır (ASCER, 2023). Bu çeşitlilik, küresel seramik sektörünün dinamik ve çok yönlü yapısını ortaya koymaktadır. Aşağıda ki Tablo 2.1'de bazı ülkelerin üretim kapasiteleri görüldüğü gibi Çin'in lider konumda olduğunu göstermektedir.

Tablo 2. 1. Dünya seramik üretiminde öncü ülkelerin üretim kapasiteleri

Ülke	Üretim kapasitesi (milyon adet)	Üretilen (milyon adet)
Çin	10	7
Türkiye	6.7	6.7
Brezilya	11.3	5.6
BAE	5	4.8
Almanya	4.5	4.1
Hindistan	4.2	3.0
Suudi Arabistan	3.6	2.5
Tayland	2.6	2.4

Kaynak: (Ceramics World Review, 2023)

2.1.1 Çin

Çin, dünya seramik karo üretiminin yaklaşık olarak %60'ını karşılayarak seramik sektöründe lider konumdadır. 2023 yılında yaklaşık 7,5 milyar m² üretim kapasitesine ulaşan Çin hem iç pazar taleplerini karşılamakta hem de küresel ölçekteki ihracat gücüyle dikkat çekmektedir (CWR, 2023: 20). Ülkenin seramik üretimindeki başarısında, geniş ham madde rezervleri, düşük iş gücü maliyetleri ve büyük iç pazarı önemli rol oynamaktadır. Bununla birlikte, son yıllarda Çin, enerji verimliliği ve karbon emisyonlarını azaltmaya yönelik önemli adımlar da atmaktadır.

2.1.2 Hindistan

Hindistan, seramik karo üretiminde yıllık 1,3 milyar m² kapasiteyle Çin'in ardından ikinci sırada yer almaktadır (CWR, 2023). Ülke, gelişmiş üretim teknikleri ve artan ihracat hacmi ile hem iç hem de dış pazarlarda güçlü bir oyuncu konumundadır. Sürdürülebilirlik açısından bakıldığında, Hindistan'ın seramik sektörü, enerji ve kaynak tüketiminin azaltılmasını hedefleyen döngüsel ekonomi uygulamalarına öncelik vermektedir. Özellikle üretim sürecinde oluşan atıkların geri kazanımı ve düşük karbon ayak izi politikaları, Hindistan'ın uluslararası sürdürülebilirlik standartlarına uyum sağlama çabalarını ortaya koymaktadır. Bunun yanı sıra, sektördeki dijitalleşme girişimleri, kaynak verimliliğini artırarak çevresel etkiyi en aza indirmeye yönelik önemli adımlar olarak değerlendirilmektedir. Hindistan'ın seramik sektörü, yenilikçi sürdürülebilirlik stratejileri ile hem yerel kalkınmayı desteklemekte hem de küresel seramik pazarında rekabetçi bir konumda yer almaktadır (Turkish Ceramics, 2022).

2.1.3 Brezilya

Brezilya, Latin Amerika'nın en büyük seramik karo üreticisi olarak 2023 yılında yaklaşık 900 milyon m² üretim gerçekleştirmiştir (ASCER, 2023). Ülke, geniş doğal kaynak rezervleri ve güçlü bir yerel sanayi altyapısıyla dikkat çekmektedir. Ülkenin zengin doğal kaynakları, düşük ham madde maliyetleri ve coğrafi konumu, seramik sektöründeki rekabet gücünü artırmaktadır. Brezilya, özellikle Latin Amerika pazarında ihracatta güçlü bir konumda olup, bölgesel talebi karşılamak için enerji verimli üretim teknolojileri ve sürdürülebilir malzeme kullanımı gibi yenilikçi çözümler benimsemekte ve bunun yanında geri dönüştürülmüş ham maddelerin kullanımında Brezilya seramik sektöründe ön plana çıkmaktadır (CWR, 2023).

2.1.4 İspanya

İspanya, 2023 yılında 530 milyon m² seramik karo üretimiyle Avrupa'nın en büyük üreticilerinden biri olmuştur (ASCER, 2023). Yüksek kaliteli ürünleri ve estetik tasarımlarıyla küresel pazarda öncü bir konuma sahiptir (CWR, 2023). Ülke, yüksek kaliteli ürünleri ve yenilikçi tasarımları ile küresel pazarda dikkat çekmektedir. ASCER 'in 2023 raporuna göre, İspanya'nın seramik sektöründeki başarısında ileri teknoloji kullanımı, modern üretim tesisleri ve sürdürülebilir üretim süreçleri önemli bir rol oynamaktadır. Ayrıca, İspanyol seramik sektörü, Avrupa Birliği standartlarına uygun çevre dostu üretim süreçleri ile sektörde örnek olarak kabul edilmektedir. İspanya, özellikle Avrupa, Kuzey Amerika ve Orta Doğu pazarlarına ihracatta güçlü bir konuma sahiptir (ASCER, 2023).

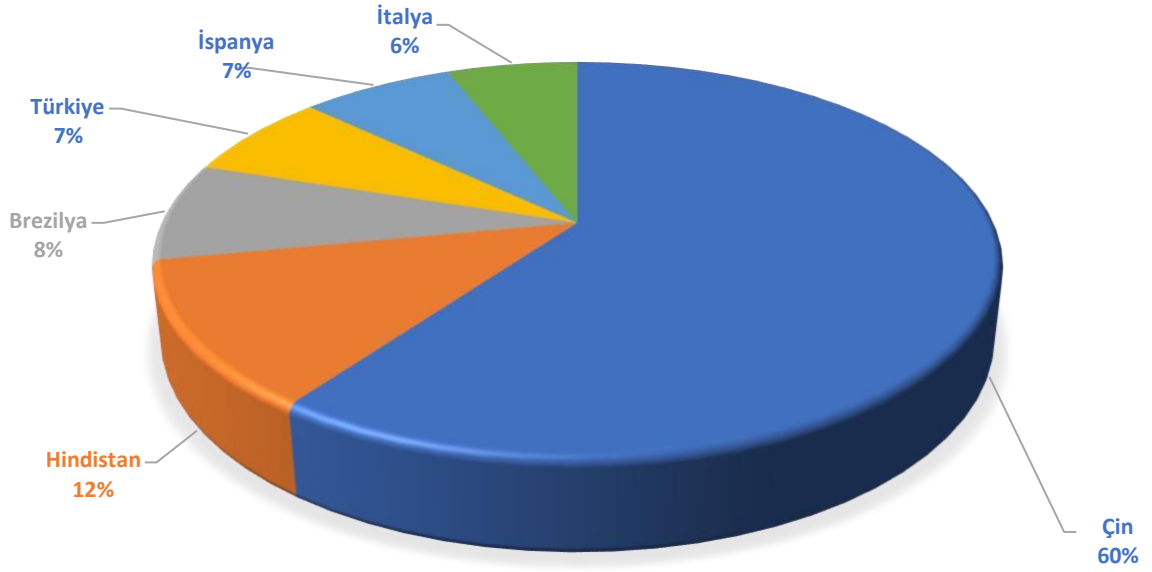
2.1.5 İtalya

İtalya, seramik sektöründe yenilikçi üretim teknolojileri ve yüksek kaliteli ürünleriyle dünya liderlerinden biri olarak sektörde yerini almıştır. 2022 yılında yaklaşık 431 milyon m² seramik karo üretimi gerçekleştiren İtalya, bu kapasitesi ile Avrupa'nın lider ülkelerinden biridir ve küresel pazarda önemli bir yer tutmaktadır. Üretimde sürdürülebilirlik uygulamaları, özellikle Sassuolo seramik bölgesinde öne çıkmaktadır. Bu bölgede faaliyet gösteren üreticiler, enerji verimliliğini artırmak ve karbon emisyonlarını azaltmak amacıyla gelişmiş teknolojilere yatırım yapmaktadır. Örneğin, bazı firmalar, üretim süreçlerinde yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak ve karbon dengeleme projelerine katılarak çevresel sürdürülebilirliği ön planda tutmaktadır (CWR, 2023). Bu sürdürülebilirlik girişimleri, İtalya'nın seramik sektörünün yalnızca çevresel etkilerini azaltmakla kalmayıp, aynı zamanda yerel ekonomiyi desteklemesini ve küresel rekabette güçlü bir konumda yer almasını sağlamaktadır.

2.2 Türkiye'de Seramik Sektörü

Türkiye, seramik karo üretiminde dünyada ilk sıralarda yer almakta olup (Grafik 2.1) güçlü üretim kapasitesiyle dikkat çekmektedir. Özellikle Bilecik, Eskişehir, Kütahya ve Aydın gibi sanayi bölgelerinde yoğunlaşan fabrikalar, ülkenin üretim gücünün önemli bir kısmını temsil etmektedir. Türkiye'nin 2022 ihracatı, 254 milyar dolarla rekor bir seviyeye ulaşmıştır. Bu başarıda, "Çimento, Cam, Seramik ve Toprak Ürünleri" sektörü önemli bir pay sahibi olmuş ve sektör ihracatını %18 oranında artırmıştır. Seramik sektörü, Avrupa Yeşil Mutabakatı çerçevesinde sürdürülebilirlik hedeflerine odaklanmış, çevresel hedeflere uygun adımlar atılması gerektiğini savunmuştur. Bu kapsamda sektörün ihracat performansı, yeşil dönüşüm

çalışmaları ile desteklenerek uluslararası pazardaki konumunu güçlendirmeye devam etmektedir (TİM, 2023). Türkiye'nin bu ihracata yönelik stratejisi Avrupa, Orta Doğu ve Afrika pazarlarında güçlü bir konum elde etmesini sağlamıştır (CWR, 2023). 2022 yılı itibarıyla Türkiye, seramik kaplama malzemeleri ihracatında dünya çapında önemli bir konumuna gelmiştir. Sektörün ihracatı, ülkenin toplam ihracatına önemli bir katkı sağlamaktadır. Ancak sektör, yüksek katma değerli ürünlere yönelerek rekabet gücünü artırmayı hedeflemektedir (KB, 2023).



Grafik 2. 1. Dünya seramik üretimi öncü ülkeler

Kaynak: (CWR, 2023)

3. SÜRDÜRÜLEBİLİR SERAMİK ÜRETİMİ

Sürdürülebilir seramik üretimi, çevresel etkilerin azaltılmasını, ekonomik verimliliğin artırılmasını ve sosyal sorumluluğun teşvik edilmesini hedefleyen çok yönlü bir yaklaşımdır. Seramik üretiminde sürdürülebilirlik çalışmaları sayesinde, yüksek enerji tüketimi, atık oluşumu ve su kullanımı gibi süreçlerden kaynaklanan çevresel sorunlara çözüm bulunması amaçlanmaktadır. Bu hedeflere ulaşmak için enerji verimliliği, atık yönetimi, çevre dostu ham maddelerin kullanımı ve dijitalleşme gibi noktalara değinilmektedir.

3.1 Enerji Verimliliği ve Yenilenebilir Enerji Kullanımı

Enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji kullanımı seramik sektöründe sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda kritik bir öneme sahiptir. Sektör, enerji yoğun bir yapıya sahip olması nedeniyle enerji tüketimini azaltmak ve yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş yapmak için yenilikçi çözümlere yönelmelidir. Bu bağlamda, seramik üretim süreçlerinde enerji verimliliği sağlayan teknolojilerin kullanımı hem maliyetleri düşürmekte hem de karbon emisyonlarının azaltılmasını sağlamaktadır. Örneğin, atık ısı geri kazanım sistemlerinin uygulanması ve enerji yoğun proseslerinin kontrolünün sağlanması sektörün çevresel etkileri azaltmaktadır (Turkish Ceramics, 2022).

Ayrıca, seramik sektörü yenilenebilir enerji kullanımını artırarak uluslararası sürdürülebilirlik standartlarına uyum sağlamayı hedeflemektedir. Özellikle güneş ve rüzgâr enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, enerji maliyetlerini azaltmanın yanı sıra, sektörün karbon ayak izini önemli ölçüde küçültmektedir. Bununla birlikte, yenilenebilir enerji projelerine yapılan yatırımlar, seramik sektörünün Avrupa Yeşil Mutabakatı gibi uluslararası düzenlemelerle olan uyumunu artırmakta ve global rekabet gücünü artırmaktadır. (Turkish Ceramics, 2022).

3.2 Atık Yönetimi ve Döngüsel Ekonomi

Seramik sektöründe atık yönetimi ve döngüsel ekonomi, çevresel etkilerin azaltılmasında kritik öneme sahiptir. Bu yaklaşımlar, atık oluşumunun önlenmesi, oluşan atıkların ise geri dönüşüm, yeniden kullanım veya enerji geri kazanımı yoluyla değerlendirilmesini temel alır. Avrupa Birliği, 2035 yılına kadar belediye atıklarının %90'ını depolama sahalarına kabul etmeme hedefi belirlerken, Türkiye'de ise aynı tarihe kadar belediye atıklarının %60'ının geri kazanılması hedeflenmiştir. Ülkemizde başlatılan Sıfır Atık Projesi ve

buna bağlı olarak oluşturulan yasal dzenlemeler, atıkların kaynağında ayrıştırılmasına ve sdrdrülebilir atık ynetim sistemlerinin yaygınlaştırılmasına teşvik etmektedir. Bu adımlar, ham madde talebini azaltırken sera gazı emisyonlarının dőřrölmesine ve iklim değişikliğiyle mdcadeleye katkı sağlamaktadır (Mısır & Arıkan, 2022).

Ayrıca, dngsel ekonomi ilkelerinin seramik sektörüne uygulanması, üretim süreçlerinde atıkların kaynak olarak değerlendirilmesini mümkün kılarak yerel ekonomileri güçlendirmektedir. Avrupa Yeşil Mutabakatı ve Türkiye'nin Sıfır Atık Ynetmeliği, sdrdrülebilirlik odaklı yenilikleri teşvik etmekte ve tek kullanımlık ürünlerin sınırlandırılması, geri dönüştürölmüş malzeme kullanımının artırılması gibi uygulamalarla çevreyi koruma hedeflerini desteklemektedir. Tüm bu yaklaşımlar, seramik sektörünün daha dőřük karbon ayak izine sahip üretim yapısını benimsemesine ve küresel sdrdrülebilirlik hedeflerine katkı sağlamasına olanak tanımaktadır (Mısır & Arıkan, 2022).

3.2.1 Atıkların Geri Kazanımı ve Yeniden Kullanımı

Seramik karo üretiminde atıkların geri kazanımı, sdrdrülebilirlik açısından büyük bir potansiyele sahiptir. Bu süreçte, üretim hattından gelen pişmiş karo artıkları, atık su çamurları gibi fabrikadan kaynaklanan çeşitli atıklar geri dönüştürerek yeniden üretim süreçlerine dahil edilmektedir. Bu tür atıkların yeniden kullanımı, doğal ham maddelere olan bağımlılığı azaltırken enerji tüketimini ve çevresel etkileri de minimize etmektedir. Ayrıca, bu atıkların yeniden işlenmesi ile seramik karoların gövde kısmında olumlu etkiler sağlanmakta, bu da hem ekonomik hem de çevresel sdrdrülebilirliği desteklemektedir (Zanelli et al., 2020)

Seramik karo üretiminde atıkların geri kazanımı, üretim süreçlerinin farklı aşamalarında teknolojik yeniliklerle desteklenmektedir. Özellikle pişirme sırasında ortaya çıkan seramik atıklarının yeniden işlenmesi, karo gövdelerinde istenilen mekanik özelliklerin korunmasını sağlar. Atık malzemelerin geri dönüştürölmesi sırasında, ham maddelerin yerini alabilecek bileşenlerin dikkatlice sečilmesi gereklidir. Örneęin, feldspat ve kil yerine kullanılabilir cam kırıkları veya kül atıkları gibi malzemeler, seramik gövdenin yoğunluğunu ve dayanıklılığını artırabilir. Bununla birlikte, bu atıkların iğerdiği ağır metaller veya zararlı bileşenler gibi çevresel riskler göz önünde bulundurularak geri dönüşüm süreçlerinde kontrolleri sağlanmalıdır. Bu tür stratejiler hem ekonomik sdrdrülebilirlik hem de çevresel koruma ağısından seramik sektörü için önemli fırsatlar sunmaktadır (Zanelli et al., 2020).

3.2.2 Endüstriyel Simbiyoz ve Atık Değerlendirme

Seramik sektöründe endüstriyel simbiyoz ve atık değerlendirme konusunda, mevcut kaynakların sürdürülebilir kullanımı büyük önem taşımaktadır. Bu kapsamda, seramik üretim süreçlerinden kaynaklanan atıkların yeniden değerlendirilmesi ve farklı sektörlerde kullanılması endüstriyel simbiyoz örnekleri arasında yer almaktadır. Örneğin, üretim sırasında ortaya çıkan pişmiş seramik atıkları inşaat sektöründe dolgu malzemesi olarak kullanılabilir (Turkish Ceramics, 2022). Ayrıca, üretim süreçlerinde karbon bazlı seramik atıkların değerlendirilmesi hem atık yönetimi sorunlarını çözmekte hem de enerji verimliliğini artırmaktadır (TİM, 2023). Bu yaklaşımlar, ham madde tüketimini azaltarak maliyetleri düşürmekte ve sektördeki iş birliklerini de güçlendirmektedir.

3.2.3 Yenilikçi Atık Yönetim Teknikleri

Modern teknolojiler, seramik sektöründeki atıkların daha verimli bir şekilde yönetilmesine olanak tanımaktadır. Atık malzemelerin ayrıştırılması, geri dönüştürülmesi ve yeniden kullanımı için geliştirilen sistemler, atık miktarını azaltmayı sağlamaktadır.

3.2.4 Uluslararası Döngüsel Ekonomi Uygulamaları

Seramik sektöründe endüstriyel simbiyoz, bir endüstrinin atık malzemelerinin başka bir endüstri tarafından ham madde olarak kullanılmasıyla hem ekonomik hem de çevresel faydalar sağlamayı amaçlar. Seramik atıkları, çamur ve diğer endüstriyel yan ürünlerin geri dönüştürülerek üretim süreçlerine yeniden dahil edilmesi, doğal ham madde kullanımını azaltırken, atıkların depolama alanlarına gönderilmesini de en aza indirmektedir. Bu süreç, üretim maliyetlerini düşürmenin yanı sıra sera gazı emisyonlarını ve enerji tüketimini azaltır. Ayrıca, endüstriler arasında iş birliğini teşvik eden endüstriyel simbiyoz, atıkların değerlendirilmesine yönelik yenilikçi çözümleri destekleyerek daha sürdürülebilir bir üretim sistemi oluşturulmasına katkı sağlar (Neves et al., 2019).

3.2.5 Türkiye’de Döngüsel Ekonomi ve Atık Yönetimi

Türkiye’nin seramik sektöründe döngüsel ekonomi ve atık yönetimi uygulamaları, çevresel sürdürülebilirlik ve ihracat rekabetini artırma çabalarının bir parçası olarak önem kazanmaktadır. Türkiye İhracatçılar Meclisi (TİM)’in 2023 yılında yayınladığı İhracat Raporu’na göre, sektör içinde atıkların yeniden kullanımı ve geri dönüşümü, kaynakların verimli kullanımını teşvik ederken maliyetleri de düşürmektedir. Çimento, cam ve seramik

sektörlerinde birim ihracat değerindeki artış, bu uygulamaların ekonomik faydalarını göstermektedir. Döngüsel ekonomi planlamaları, seramik üretim süreçlerinden kaynaklanan atıkların yeniden değerlendirilmesi ve yenilikçi malzemelerin üretime kazandırılması yoluyla Avrupa Yeşil Mutabakatı ile uyum sağlamayı hedeflemektedir. Bu rapora göre, seramik sektöründe döngüsel ekonomi uygulamaları sayesinde 2022 yılında %25 daha az ham madde kullanımı gerçekleşmiştir (TİM, 2023).

3.2.6 Ekonomik ve Çevresel Faydalar

Seramik sektöründe sürdürülebilirlik ve geri dönüşüm uygulamaları hem ekonomik hem de çevresel faydalar sağlamaktadır. Seramik karo üretiminde atık yönetimi, doğal kaynakların korunması ve maliyetlerin düşürülmesi açısından önemli bir konu olarak öne çıkmaktadır. Bu kapsamda, pişmiş atıkların geri dönüştürülerek yeniden üretimde kullanılması, doğal ham maddelere olan ihtiyacı azaltmakta ve çevresel etkiyi en aza indirmektedir. Çalışmalar, atıkların %20'ye kadar geri dönüştürülerek estetik ve dayanıklı seramik ürünler üretilbileceğini göstermiştir (Poyraz & Yılmaz, 2018).

Geri dönüşüm uygulamaları ayrıca taşıma ve depolama maliyetlerini düşürerek ekonomik avantajlar sağlamaktadır. Örneğin, Türkiye'de seramik üretiminde öncü bir firma gerçekleştirdiği projede, atıkların geri dönüştürülmesiyle reçete maliyetlerini düşürmüş, nakliyeden kaynaklı emisyonlar azalmış ve ham madde tüketimini kontrol altına almıştır. Bu tür uygulamalar, çevresel sürdürülebilirliği desteklerken, seramik üreticileri için ekonomik rekabet avantajları da sunmaktadır (Poyraz & Yılmaz, 2018).

3.3 Çevre Dostu Ham Maddelerin Kullanımı

Seramik sektöründe çevre dostu ham maddelerin kullanımı hem doğal kaynakların korunması hem de çevresel etkilerin azaltılması açısından büyük bir öneme sahiptir. Ceramics World Review 2023 raporunda, sürdürülebilirlik temeline dayalı olarak yenilikçi ham maddelerin kullanımına vurgu yapılmıştır. Örneğin, çevre dostu madencilik yöntemleriyle elde edilen mineraller ve geri dönüştürülmüş atıkların seramik üretiminde kullanımı, sektörün karbon ayak izini düşürmekte ve enerji tüketimini azaltmaktadır. Ayrıca, fotovoltaiik sistemler ve su tasarrufu ile ilgili uygulamalar, üretim süreçlerinin çevreye olan etkisini önemli ölçüde minimize etmektedir (CWR, 2023).

3.3.1 Alternatif Ham Maddelerin Kullanımı

Seramik üretiminde geleneksel ham maddeler yerine yenilikçi ve çevre dostu ham maddelerin kullanılması, sürdürülebilirlik açısından büyük bir dönüşümü temsil etmektedir. Örneğin, Sardunya, İtalya'daki Buddusò granit ocak atıklarının geri dönüştürülmesi üzerine yoğunlaşmıştır. Bu çalışmada, granit atıklarının %30 ile %50 oranında seramik karoların üretiminde geleneksel ham maddelerin yerine kullanılabileceği gösterilmiştir. Granit atıkları, feldspat ve kuvars gibi değerli mineraller içerdiğinden, seramik gövde özelliklerini koruyarak çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlamaktadır. Aynı zamanda, bu atıkların yeniden kullanımı, doğal kaynak tüketimini azaltmakla kalmayıp, atık depolama sahalarının yükünü de hafifletmektedir. Çalışma, bu tür atıkların işlenmesi ve yeniden kullanımı sırasında çevre dostu yöntemlerin uygulanmasının önemini vurgulamaktadır (Vaccaro et al., 2024).

3.3.2 Geri Dönüştürülmüş Malzemelerin Kullanımı

Geri dönüştürülmüş malzemelerin seramik karo üretiminde kullanımı, çevresel sürdürülebilirliği desteklemek ve doğal kaynak kullanımını azaltmak açısından büyük bir öneme sahiptir. Bu yaklaşım, endüstriyel atıkların değerlendirilmesini sağlayarak hem atık yönetimi sorunlarına çözüm sunmakta hem de üretim maliyetlerini düşürmektedir. Aynı zamanda, geri dönüşüm yoluyla enerji tüketiminin ve karbon emisyonlarının azaltılması, seramik sektörünün çevre üzerindeki olumsuz etkilerini minimize etmektedir. Bu bağlamda yapılan bir çalışmada, kırmızı çamur (%70), fırın cürufu (%15) ve geri dönüştürülmüş cam (%15) gibi endüstriyel atıkların seramik karo üretiminde kullanımı incelenmiştir. Bu malzemelerle üretilen karolar, 1050°C'de pişirilmiş ve düşük su emme oranı (%2,64) ile yüksek eğilme mukavemeti (26,31 MPa) gibi özellikler elde edilmiştir. Çalışma, doğal ham maddelerin yerine geri dönüştürülmüş malzemelerin kullanımının hem çevresel hem de ekonomik faydalarını ortaya koymuş ve bu yöntemin endüstriyel standartlarla uyumlu olduğunu göstermiştir (Kummoonin et al., 2013).

3.3.3 Endüstriyel Atıkların Değerlendirilmesi

Seramik sektöründe endüstriyel atıkların değerlendirilmesi hem çevresel hem de ekonomik açıdan önemli faydalar sağlamaktadır. Coem'in 2023 Sürdürülebilirlik Raporu'na göre, üretim süreçlerinden kaynaklanan atıkların %93'ü geri dönüştürülerek üretimde yeniden kullanılmaktadır. Bu yaklaşım, doğal kaynakların tüketimini azaltırken aynı zamanda atık yönetiminin oluşturduğu maliyetleri de düşürmektedir. Örneğin, fırınlarda oluşan ısı geri

kazanılarak daha düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilen spreylendirme ve diğler termal işlemlerde kullanılmıştır. Bu yöntem, enerji tüketimini azaltarak karbon emisyonlarının düşmesine katkıda bulunmuştur (Coem, 2023).

Buna ek olarak, Coem tesislerinde atık suyun %98'i yeniden kullanılmakta ve sadece %2'lik bir miktar dışarıdan temin edilmektedir. Şirket, yenilikçi yöntemlerle endüstriyel atıkları hem çevre dostu hem de ekonomik açıdan avantajlı bir şekilde yönettiğinden sürdürülebilir üretim hedeflerine de ulaşmaktadır. Ayrıca, ürün ambalajlarında %70 oranında geri dönüştürülmüş malzeme kullanılarak, atık miktarı ve çevresel etkiyi daha da azaltmıştır (Coem, 2023).

3.3.4 Biyo-bazlı Ham Maddelerin Kullanımı

Biyo-bazlı ham maddeler, seramik üretiminde sürdürülebilirliğin sağlanması açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Örneğin, yüksek kalsiyum karbonat içeriği (%94-97) sayesinde yumurta kabukları, mermer ham maddesine alternatif olarak kullanılabilir potansiyele sahiptir. 1150°C'de yapılan denemeler sonucunda, kahverengi ve yeşil tonlarında parlak ve mat yüzey etkili surlar elde edilmiştir. Bu durum hem atık yönetiminde hem de doğal kaynakların korunmasında yenilikçi çözümler sunmaktadır. Gıda atıklarının yeniden değerlendirilmesi ile seramik üretiminde çevresel etkiler azaltılırken, estetik ve teknik olarak uygun ürünler elde edilebileceği gösterilmiştir (Kum & Poyraz, 2022).

3.4 Su Tüketiminin Azaltılması

Seramik üretiminde su, çamurun işlenmesi, engoblanması ve sırlanması gibi önemli süreçlerde yoğun olarak kullanılmaktadır. Bu başlık altında incelenen sistemler ve teknolojiler su tüketimini büyük ölçüde azaltmaya yönelik olabileceği düşünülerek incelenmiştir.

3.4.1 Kapalı Döngü Su Sistemleri

Seramik sektörü suyun yoğun olarak kullanıldığı bir sektör olduğundan, suyu geri dönüştürüp yeniden üretime katmak çok büyük bir önem taşımaktadır. Bu sistemler, üretim süreçlerinde suyun geri dönüştürülerek yeniden kullanılmasını sağlayarak tatlı su tüketimini önemli ölçüde azaltıp, atık su deşarjını en aza indirmektedir. Örneğin, bir seramik üreticisi firma, %100 atık suyunu arıtıp bir kısmını yeniden kullanarak kapalı döngü üretim sistemini benimsemiştir. Bu uygulama, üretim süreçlerinde su ve atık yönetimini optimize ederek çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlamaktadır (Waste & Circularity, 2024).

3.4.2 Su Geri Kazanım Teknolojileri

Sektör su kazanımı için değişik teknolojiler kullanmaya müsaittir. Örneğin, Mayer Su Arıtma, endüstriyel su arıtma süreçlerinde ters osmoz sistemlerini kullanarak suyun içerisindeki çözünmüş tuzlar, iyonlar ve diğer safsızlıkları yüksek basınç altında yarı geçirgen membranlar aracılığıyla uzaklaştırmaktadır. Bu teknoloji, endüstriyel proseslerde kullanılan suyun geri kazanımı ve yeniden kullanımı için etkili bir çözüm sunmaktadır. Firma, ters osmoz sistemlerini farklı sektörlerin ihtiyaçlarına göre özelleştirerek yüksek saflıkta su elde edilmesini sağlamaktadır. Ayrıca, sistemin verimliliğini artırmak ve membran ömrünü uzatmak için ön arıtma süreçlerinde kum filtresi, karbon filtresi ve su yumuşatma cihazları gibi ekipmanlar kullanılmaktadır (Mayer Su Arıtma Sistemleri).

3.4.3 Kuru Üretim Teknikleri

Kuru üretim teknolojileri, seramik karo üretiminde hem süreç verimliliği hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Kuru yöntemle üretilen granüller, sıvı kullanılmadan homojenizasyon, akışkanlık ve yoğunluk açısından mükemmel özellikler sergiler. Bu yöntem, ham maddelerin işlenmesi sırasında doğal gaz tüketimini tamamen ortadan kaldırarak enerji tasarrufu sağlar ve CO₂ emisyonlarını azaltır. Ayrıca, kuru yöntemle üretimde su tüketimi ciddi oranda azaltılarak ıslak yöntemle karşılaştırıldığında 36 litre su tüketimi kuru yöntemde, 266 litre ıslak yöntemde tüketilmektedir (Koçak & Karasu, 2019).

3.4.4 Yağmur Suyu Hasadı

Seramik karo üretiminde yağmur suyu hasadı (YSH), çevresel etkileri azaltmak ve su tüketimini kontrol altına almak için etkili bir yöntemdir. “Ceramic Tile and Sanitary Ware Manufacturing Guidelines” adlı raporda, yağmur suyu ve diğer su kaynaklarının verimli kullanımına üreticileri teşvik etmektedir. YSH, çatı yüzeylerinden toplanan suyun filtrelenip depolanarak üretim süreçlerinde kullanılmasını içerir. Bu yöntem, su tüketimini azaltırken, kirlilik seviyelerini düşürmeye ve maliyet tasarrufu sağlamaya olanak tanır. Ayrıca, yağmur suyu sistemleriyle entegre edilen kapalı devre su geri kazanım süreçleri hem suyun kalitesini artırmakta hem de çevre dostu üretim hedeflerini desteklemektedir (IFC, 2007).

3.4.5 Çevresel ve Ekonomik Faydalar

Seramik sektöründe su tüketimini azaltmaya yönelik çevresel ve ekonomik faydalar, doğal kaynakların korunması ve sürdürülebilir üretim süreçlerinin teşvik edilmesiyle doğrudan

ilişkilidir. İklim değışikliği raporunda da belirtildiği üzere, endüstriyel su kullanımında geri dönüşüm ve yeniden kullanım uygulamaları, çevresel kirleticilerin azaltılmasına ve doğal ekosistemlerin korunmasına katkı sağlamaktadır. Özellikle suyun geri kazanımı ve kapalı döngü su sistemlerinin kullanılmasıyla, su tüketimi önemli ölçüde azaltılırken, atık su deşarjı da minimum seviyeye indirilmektedir. Bu süreçler, su kaynaklarının verimli kullanımını artırarak, sanayinin çevresel sürdürülebilirliğini desteklemektedir (Koyuncu et al., 2015).

Ekonomik faydalar açısından bakıldığında, su tüketimini azaltmaya yönelik teknolojilerin uygulanması, uzun vadede enerji ve arıtma maliyetlerini azaltarak ekonomik kazanç sağlamaktadır. Ayrıca, çevre mevzuatlarına uyumun sağlanması ve olası cezai yaptırımların önlenmesi, işletmelerin rekabet gücünü artırmaktadır. Raporda, su tasarrufuna yönelik bu tür uygulamaların işletmelerin sürdürülebilirlik stratejilerinde önemli bir yer tuttuğu ve uluslararası pazarda rekabet avantajı sunduğu vurgulanmaktadır (Koyuncu et al., 2015).

3.5 Dijitalleşme ve Otomasyon

Seramik sektöründe dijitalleşme ve otomasyonun etkileri, Endüstri 4.0 teknolojilerinin çevresel sürdürülebilirlik ve üretim verimliliği üzerindeki katkıları açısından değerlendirilebilir. Endüstri 4.0'ın sunduğu Yapay Zekâ (AI), Büyük Veri (Big Data), Nesnelerin İnterneti (IoT) ve bulut bilişim gibi araçlar, seramik üretim süreçlerini daha hızlı ve çevre dostu hale getirmektedir. Örneğin, üretim tesislerinde robotik sistemlerin ve akıllı sensörlerin kullanımı, malzeme israfını azaltmakta ve enerji tüketimini optimize etmektedir. Aynı zamanda, büyük veri analitiği, üretim süreçlerinde aksaklıkların öngörülmesini ve verimlilik artmasını sağlayan çözümler geliştirilmesini sağlamaktadır. Bunun yanı sıra, dijitalleşme sayesinde seramik sektörü, tedarik zincirlerinden fabrika içinde ki operasyonlara kadar daha uyumlu ve şeffaf bir yapı kazanmaktadır. IoT ve bulut teknolojileri, üretim aşamalarında gerçek zamanlı veri toplama ve analizlere olanak tanımakta, böylece çevresel etkileri daha iyi izleyip yönetilebilmektedir. Özellikle sürdürülebilir üretim açısından, atık malzemelerin geri dönüştürülmesi ve yeniden kullanılması, dijital sistemlerle daha etkin hale gelmektedir. Bu durum, yalnızca çevresel sürdürülebilirliği artırmakla kalmaz, aynı zamanda işletmelerin maliyetlerini düşürerek rekabet avantajı sağlar (Javaid et al., 2022).

3.6 Sosyal Sürdürülebilirlik

Seramik sektöründe sosyal sürdürülebilirlik hem işletme içindeki hem de dışındaki paydaşların refahını artırmayı hedefleyen bir yaklaşımdır. Bir seramik firması, sürdürülebilir inovasyonu bir yatırım olarak görmektedir. Bu çerçevede firma, çalışanlarının becerilerini

geliştirmek amacıyla çeşitli eğitim programları dñzenlemekte ve bilgi yñnetimine odaklanmaktadır. Örneğin, üretimde kullanılan robot teknolojisi sayesinde işçilik maliyetlerini azaltırken, çalışanlara yeni teknolojilere uyum sağlama ve bu teknolojileri etkin kullanma konusunda eğitimler verilmektedir. Ayrıca, iş birliği kapsamında tüm departmanlar arasında iletişimi güçlendiren çalışmalar dñzenlenerek, sürdürülebilirlik kñltürü aşılanmaktadır (Dural et al., 2023).

Sosyal sürdürülebilirliğin bir diğer önemli boyutu ise toplumsal katkılardır. Firma, üniversite-sanayi iş birliği projelerine aktif olarak katılım sağlamış ve bu kapsamda genç girişimcilerin projelerini desteklemek amacıyla Kuluçka Merkezleri kurulmuştur. Ayrıca, iş yerinde sağlıklı ve güvenli çalışma koşullarını artırarak işçi memnuniyetini ve motivasyonunu geliştirmek için sürekli iyileştirme çalışmaları yürütmektedir. Firma, aynı zamanda toplumsal değişime katkı sağlamak için eğitim ve teknoloji projelerine destek vererek hem yerel hem de ulusal ölçekte sosyal fayda sağlamayı hedeflemektedir (Dural et al., 2023).

4. SERAMİK SEKTÖRÜNÜN SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİ İLE İLGİLİ GÜNCEL LİTERATÜR ÖRNEKLERİ

Seramik sektörünün sürdürülebilirliği üzerine yapılan çalışmalar, çevresel etkilerin azaltılması ve kaynak kullanımının kontrol altına alınması açısından farklı yaklaşımları kapsamaktadır. Bu bölümde, sürdürülebilir seramik üretimine yönelik dünya çapında yapılan güncel tezler ve önemli çalışmalar dikkatle incelenmiştir.

4.1 Geri Dönüşüm ve Atık Yönetimi Çalışmaları

Metal Atık Katkılı Seramik Malzemenin Redüktif Pişirim Atmosferinde Artistik Yüzey Etkilerinin Araştırılması isimli çalışmada, metal üretim atıklarının seramik malzemelerinde artistik yüzey etkileri yaratmadaki potansiyelini incelemektedir. Çalışmada İzmit ve Sakarya bölgelerinden temin edilen çelik, alüminyum, bakır ve demir talaşı gibi metal atıklar seramik kil bünyesine %5, %10 ve %15 oranlarında eklenerek indirgen (redüktif) pişirim atmosferinde renk ve yüzey değişimleri gözlemlenmiştir. Pişirimler, 1200°C ile 1260°C arasında gerçekleştirilmiş ve farklı metal oranlarının seramik yüzeyde nasıl etkiler oluşturduğu incelenmiştir. Sonuçlara göre, bakır oksit nötr atmosferde yeşil tonlar oluştururken, indirgen atmosferde kırmızı tonlara dönüşmüştür. Alüminyum talaşı ise yüzeyde parlaklık ve yoğun dokular sağlarken, çelik talaşı siyah ve koyu gri tonlar üretmiştir. Özellikle %10 oranında metal talaşı kullanımı, yüzeyde hem estetik hem de dayanım açısından en iyi sonuçları vermiştir. Bu çalışma, endüstriyel metal atıkların seramik sanatında alternatif bir malzeme olarak kullanılabileceğini ve geri dönüşüm projelerine katkı sağlayabileceğini ortaya koymaktadır (Güzelgün Hangün & Acıbal, 2023).

Yine başka bir çalışma olan ‘Seramik Karo Üretiminde Atık Malzemelerin Geri Dönüşümü’ adlı çalışmada, üretimde farklı atık malzemelerin geri dönüşüm potansiyelini ve bu uygulamanın çevresel ve ekonomik faydalarını ele almaktadır. Çalışmada, cam atıkları, kömür külü, belediye katı atık yakma külü (MSWI), kanalizasyon çamuru ve granit kesme çamuru gibi atıkların seramik karo üretiminde kullanımına odaklanılmıştır. Örneğin, cam atıklarının %4060 oranında kullanımı, yüksek mekanik mukavemet (>35 MPa) ve düşük su emme oranı (%0,5’in altında) sağlamıştır. Kömür külü ise %60 oranında kullanıldığında, eğilme mukavemetini 30 MPa ’ya, su emme oranını ise %2’ye kadar düşürmüştür. Bu bulgular, atıkların seramik üretiminde kullanılmasının endüstriyel standartları karşıladığını göstermiştir. Çalışmada, geri dönüşüm süreçlerinin yalnızca çevresel fayda sağlamakla kalmayıp ekonomik avantajlar

sunduğunu da vurgulamaktadır. MSWI külü %20 oranında kullanıldığında, hem ağır metallerin immobilize edilmesi sağlanmış hem de karoların çevresel etkileri azaltılmıştır.

Kanalizasyon çamuru %60 oranında seramik karolara dahil edildiğinde, 1210°C’de %1,14 su emme ve 25.5 MPa eğilme mukavemeti elde edilmiştir. Granit kesme çamuru, %50 oranında kullanıldığında, su emme oranını %0,25’in altına düşürmüş ve eğilme mukavemetini 55 MPa’nın üzerine çıkarmıştır. Bu çalışma, atık malzemelerin seramik karo üretiminde başarılı bir şekilde geri dönüştürülerek doğal kaynak tüketiminin azaltılabileceğini ve sürdürülebilir bir üretim süreci oluşturulabileceğini göstermektedir (Yuan et al., 2021).

4.2 Enerji Verimliliği ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımı

Hidrojenle Zenginleştirilmiş Yakma Sistemleri ve Seramik Sektörü Uygulaması çalışmasında, hidrojenle zenginleştirilmiş yakıt sistemlerinin seramik sektöründe uygulanabilirliği ve enerji verimliliği üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Doğal gazla çalışan bir seramik fırınına elektrolizle elde edilen hidrojenin farklı oranlarda ilavesi yapılmıştır. Uşak ilinde bir seramik fabrikasında gerçekleştirilen deneylerde, hidrojenin enerji ve ekserji verimliliği üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. 40cm x 40cm ve 25cm x 40cm boyutlarındaki karolar için enerji verimliliği %62 ile %65 arasında değişmiştir. Ayrıca, hidrojen ilavesiyle doğal gaz tüketiminde azalma sağlanmış, bu da üretim maliyetlerini ve karbon emisyonlarını düşürmüştür. Sonuçlara göre, hidrojen enjeksiyonunun tek nokta ve çoklu nokta uygulamaları değerlendirilmiş ve çoklu nokta enjeksiyonunun daha yüksek enerji ve ekserji verimi sağladığı belirlenmiştir. Örneğin, 40cmx40cm karolarda optimum hidrojen debisi, çoklu nokta enjeksiyonunda 1,0752 kg/saat, tek nokta enjeksiyonunda ise yaklaşık 1,16 kg/saat olarak bulunmuştur. Ekonomik analizler, bu sistemin yatırım maliyetinin 3 ay içinde geri dönebileceğini göstermektedir. Çalışma, hidrojenle zenginleştirme sistemlerinin seramik sektöründe enerji verimliliğini artırmak için etkili bir çözüm olduğunu ortaya koymuştur (Ayna, 2012).

4.3 Su Tüketimi ve Atıksu Yönetimi

Seramik Endüstrisi Atık Sularının Seramik Membranlarla Etkili Arıtılması adlı çalışma, seramik sektöründe atık suyun etkili bir şekilde arıtılması için seramik membran teknolojisinin kullanımını incelemiştir. Çalışmada, kimyasal oksijen ihtiyacı (COD), toplam organik karbon ve iyon içeriği gibi su kalitesini etkileyen unsurların azaltılması hedeflenmiştir. Bu amaçla, mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon ve nanofiltrasyon gibi farklı seramik membran kombinasyonları

laboratuvar ve pilot ölçekli sistemlerde test edilmiştir. Laboratuvar testlerinde A200 ve T0.9 membran kombinasyonu, COD seviyesini %83,8 ila %99,9 arasında düşürerek en iyi performansı göstermiştir. COD seviyeleri, 7.300 mg/L'den 51 mg/L'ye düşürülmüştür (Shurygin et al., 2021).

Pilot ölçekli testlerde, çok kanallı membran sistemleri kullanılarak daha yüksek akış kapasitesinde benzer sonuçlar elde edilmiştir. A200+T0.9 kombinasyonu, %95,6'ya kadar COD azaltımı sağlamıştır. Bu sonuçlar, seramik membran teknolojisinin, seramik endüstrisi atık sularının geri kazanımı ve çevresel etkilerin azaltılması için etkili bir yöntem olduğunu göstermektedir. Bu teknoloji, suyun yeniden kullanımı sayesinde hem çevresel faydalar hem de maliyet tasarrufu sağlamaktadır (Shurygin et al., 2021).

4.4 Sera Gazı Emisyonları ve Karbon Yönetimi

SILC I REDUCER, *Seramik Sektöründe Karbon Emisyonlarının Azaltılması ve Enerji Verimliliğinin Nihai Raporu* adlı çalışmada, seramik karo üretiminde enerji tüketimini azaltmak ve karbon emisyonlarını düşürmek için enerji geri kazanım teknolojileri uygulanmıştır. Özellikle pişirme fırınlarından çıkan atık ısının kurutma fırınlarında yeniden kullanılması hedeflenmiştir. Kurutma fırınlarında yıllık 4,50 GWh, pişirme fırınlarında ise 2,40 GWh enerji tasarrufu sağlanmıştır. Bu tasarruflar sayesinde yıllık toplam 1.492 ton CO₂ emisyonunun önüne geçilmiştir. Çalışmada, enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik hedeflerinin aynı anda sağlanabileceği kanıtlanmıştır (Mezquita et al., 2014: 14-16). Ayrıca, enerji tasarrufu sağlayan bu yöntemler, işletmelerin enerji maliyetlerini düşürmüş ve çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine katkıda bulunmuştur. Enerji geri kazanım sistemi, sıcak gazların ısı enerjisi kullanılarak işletmelerin enerji tüketimini optimize etmiştir. Bu çalışma, seramik sektöründe karbon yönetimi ve enerji verimliliğini artırmak için uygulanabilir bir model sunmaktadır. Elde edilen sonuçlar, enerji verimli teknolojilerin uygulanmasının hem çevresel hem de ekonomik faydalar sağlayabileceğini ortaya koymuştur (Mezquita et al., 2014).

4.5 Malzeme ve Ham Madde Kullanımı

Porselen Ham Maddeler, İşleme, Faz Evrimi ve Mekanik Davranış isimli çalışmada porselen üretiminde kullanılan ham maddeler, işleme teknikleri, faz evrimi ve mekanik özellikler detaylı bir şekilde incelenmiştir. Çalışma, porselenin temel ham maddesi olan kil, feldspat ve kuvarsın kompozisyonlarına, işleme süreçlerine ve pişirme sırasında gerçekleşen faz değişimlerine odaklanmaktadır. Ayrıca, porselen üretiminde kullanılan ham maddelerin

seçimi, özellikleri ve üretim süreçlerinde bu malzemelerin oynadığı rol detaylı olarak ele alınmıştır (Carty & Senapati, 1998).

Çalışmada, ham maddelerin katkı maddeleri ile kombinasyonları değerlendirilmiş ve kil sistemlerinin plastiklik ve reolojik özellikleri analiz edilmiştir. Pişirme sırasında oluşan kimyasal reaksiyonlar, sıcaklık ve zaman gibi faktörlerin, porselenin mekanik dayanıklılığı ve mikroyapısı üzerindeki etkileri açıklanmıştır. Porselenin ısıtma sürecinde farklı sıcaklıklarda kristalize olan mullit ve diğer fazların oluşumu da çalışma kapsamında ele alınmıştır. Bu bilgiler, porselen üretiminin optimize edilmesi ve malzeme verimliliğinin artırılması için önemli bir temel sunmaktadır (Carty & Senapati, 1998).

5. MATERYAL VE METOT

Çalışmanın bu kısmında seramik üretimi ve fabrikaya ait veriler yer almaktadır. Bölüm 5.1’de çalışmanın amacı ve kapsamı açıklanmıştır. Bölüm 5.2’de ise tesis hakkında bilgi verilmiştir. Bundan sonra Bölüm 5.3’te seramik üretim süreci ve bu süreçte kullanılan ham maddeler ve enerjiye ait detaylı bilgi paylaşımı yapılmıştır. Ayrıca fabrika üretim sürecinde kullanılan su ile birlikte atık su verileri ve ortaya çıkan katı atık verileri de sunulmuştur.

Bu bölümde ele alınan fabrikaya ait ham madde, su ve enerji tüketimi ve atık verileri, sorunları tespit etme amacıyla kullanılmıştır. Böylece hem üretim aşamasındaki kaynak kullanımını sorunlarını tespit edilebilmiş hem de sürdürülebilir çözüm önerileri sunmayı sağlamıştır. Enerji tüketimi açısından, üretim süreçlerinde açığa çıkan sera gazı emisyonları hesaplanmıştır. Su yönetimi kapsamında ise fabrikanın su tüketim ve geri kazanım sistemleri analiz edilmiştir. Atık yönetimi ile ilgili olarak ise tesiste oluşan atık türleri ve verileri sunulmuştur.

5.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu tez çalışmasının amacı, seramik üretim süreçlerindeki enerji tüketimi, ham madde kullanımı, su yönetimi ve atık yönetimi gibi çevresel sürdürülebilirlik etki alanlarını analiz ederek bu alanlarda uygulanabilecek iyileştirmeleri ve bunların etkilerini değerlendirmektedir. Çalışmada seramik karo imalatına yönelik başlıca kaynak verimliliği önlemleri ve örnek uygulamalar paylaşılmıştır.

Araştırmada kullanılan veriler Türkiye’nin seramik sektöründe faaliyet gösteren ve önde gelen firmalarından birinin Bilecik’te bulunan üretim tesisinden sağlanmıştır. Ürün olarak çeşitli boylardaki yer ve duvar karoları en fazla üretilen çeşit olması sebebiyle seçilmiştir. Bu ürünlerin üretim süreçlerinin enerji, ham madde ve su tüketimi açısından kapsamlı bir analiz fırsatı sunması iyileştirme alternatiflerinin daha kapsamlı değerlendirilmesini sağlamıştır.

5.2 Üretim Tesisi

Bu çalışma için veri temin edilen seramik fabrikası, Bilecik’te faaliyet göstermekte olup toplamda 100.000 m²’lik bir alana yayılan tesiste 2023 yılı itibarıyla toplamda 12 milyon m² seramik üretimi gerçekleşmiştir. Türkiye’nin seramik üretim kapasitesinin %4’ünü karşılayan bu tesis Türkiye’de bulunan seramik tesislerini örnekler niteliktedir. Tesiste seramik ürünlerin standartlarını belirleyen bir Avrupa standardı olan TS EN 14411 standardı esas alınarak üretim

yapılmaktadır. Tablo 5.1’de seramik fabrikası 2023 yılına ait toplam üretim miktarı m² ürün başına aylık olarak detaylı olarak verilmiştir.

Tablo 5. 1. Seramik fabrikasının 2023 yılına ait üretim verileri

Aylar	Toplam üretim (m ²)
Ocak	957.000
Şubat	919.000
Mart	1.213.000
Nisan	1.201.000
Mayıs	874.000
Haziran	822.000
Temmuz	770.000
Ağustos	831.000
Eylül	899.000
Ekim	1.278.000
Kasım	1.265.000
Aralık	982.000
Toplam	11.904.000

Kaynak: (Bilecik ilinde seramik karo üretim yapan fabrika verileri, 2023)

5.3 Seramik Üretimi

Türkiye’de Bilecik bölgesinde üretim yapan bu tesis, yer karosu ve duvar karosu üretimi yapmaktadır. Fabrikada bu ürünler için yapılan üretim süreci Şekil 5.1’de gösterilmiştir.

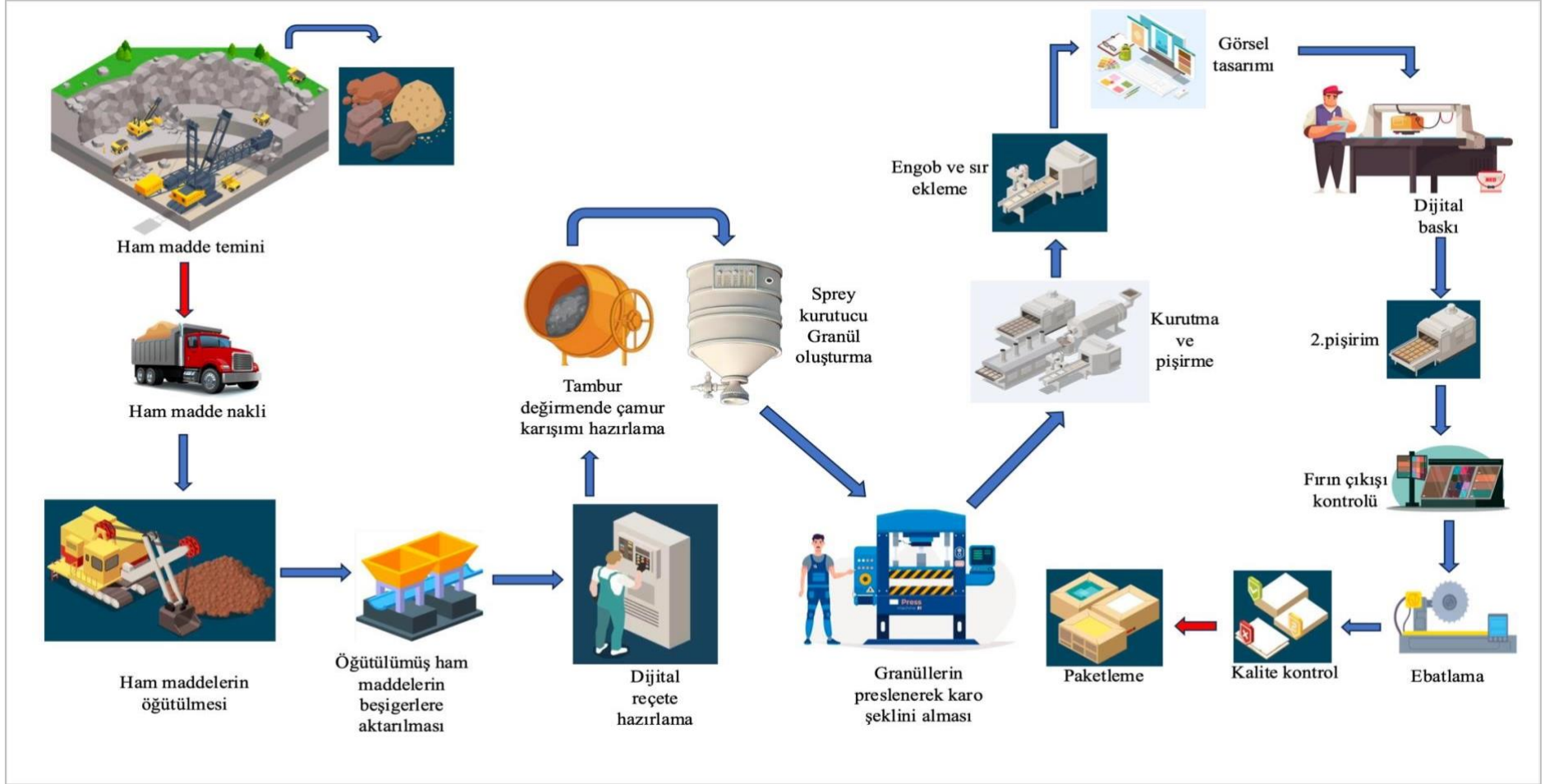
Üretim ham maddelerin tesise gelmesiyle başlamaktadır. Ham maddelerin bir kısmı yurt içinden sağlanırken, bir kısmı da ithal edilmektedir. Özellikle sır yapımında kullanılan ham maddelerin bazıları yurt dışından temin edilmektedir.

Ham madde ulaşımına ait veriler Tablo 5.2’de verilmiştir. Şekil 5.1’de gösterildiği gibi süreç, ham madde temini ve nakli, öğütme ve beşiğerlere taşıma, reçete girdisi ve çamur karışımı hazırlama, granül oluşturma, presleme ve şekillendirme, kurutma ve pişirme, engob, sırlama ve dijital baskı, ikinci pişirim, ebatlama, kalite kontrol ve paketleme olmak üzere proses akışı sağlanmaktadır.

Tablo 5. 2. Ham madde temin bölgelerine ait veriler

Ham madde	Temin bölgesi	Uzaklık (km)
Kil	İstanbul-Şile, Arnavutköy, Beykoz	200
	Balıkesir- Gönen, Sındırgı,	240
	Eskişehir-Mihalıççık	80
Kaolin	Bilecik-Söğüt	30
	Kütahya-Emet	100
Feldspat	Aydın-Çine	588
	Kütahya-Simav	250
Bor	Kırka Bor İşletme Müdürlüğü	150
Silikat	İspanya	3.200
Frit	Kendi fabrikası	-
Bentonit	Kütahya-Demirli	115
	Ankara- Kalecik	400
Albit	Aydın- Çine	588
	Muğla-Milas	628
Dolomit	Avusturya	1.400
Kuvars	Hindistan	4.500
Wollastonit	Çin	6.500
Mermer tozu	Söğüt	29
	Osmaneli	34
	Bozüyük	40
Kalsit	Muğla-Yatağan	626
	Söğüt	29
Kireç	Bozüyük	40
	Eskişehir-Sivrihisar	179
Alçı taşı	Kütahya-Emet	100
	Titanyum dioksit	Eti Maden
Kobalt oksit	Ak-Kim Kimya	120
Çinko oksit	Şişecam	50
Demir oksit		

Kaynak: (Bilecik ilinde seramik karo üretimi yapan fabrika verileri, 2023)



Şekil 5. 1. Seramik üretimi proses akış şeması

Kaynak: (Bilecik ilinde seramik karo üretimi yapan fabrika verileri, 2023)

Üretim ham madde temini ile başlar. Kaolin, kil, feldspat gibi ham maddeler ekskavatörler yardımıyla boyutları küçültülerek kendilerine ait alanlarına taşınırlar. Araçlarla üretim bölgesine götürülen boyutları küçültülmüş ham maddeler beşişerlere aktarılır ve ham maddeler burada üretimde kullanılmak üzere beklerler.

Seramik karo üretiminde ham madde hazırlama süreci, nihai ürünün kalitesini belirleyen en kritik aşamalardan biridir. Ham maddelerin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin optimize edilmesi, tüm üretim sürecinin verimliliğini artırmakta ve ürünlerin dayanıklılık, estetik ve fonksiyonel özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Ham madde hazırlama sürecinin ilk adımı ise, yüksek saflıkta ve kalite standartlarına uygun ham maddelerin seçilmesidir. Fabrika, ham maddelerin kimyasal bileşimlerini ve fiziksel özelliklerini detaylı bir şekilde analiz ederek üretim süreçlerine dahil etmektedir. Bu aşama, hassas kontrol mekanizmaları ile gerçekleştirilir. Tablo 5.3'te karıştırılan ham maddeler ve miktarları belirtilmiştir. Değirmenlerde, en fazla su tüketimi üretimin bu aşamasında gerçekleşir. Tablo 5.3'te üretim sırasında tüketilen su miktarları ton birimi ile verilmiştir.

Tablo 5. 3. Aylara bağlı 2023 yılı su tüketimi

Ay	Değer (ton)
Ocak	25.350
Şubat	22.652
Mart	21.356
Nisan	23.569
Mayıs	23.458
Haziran	24.567
Temmuz	24.124
Ağustos	22.138
Eylül	23.649
Ekim	24.567
Kasım	25.690
Aralık	24.850
Toplam	285.970

Kaynak: (Bilecik ilinde seramik karo üretimi yapan fabrika verileri, 2023)

Elektrolitin içeriğinde sodyum, potasyum, bikarbonat ve klorür gibi mineral tuzlar bulunmaktadır. Bu elektrolitler çamur partiküllerinin yüzey yüklerini dengeleyerek elektrostatik itme kuvvetini artırır ve dispersiyon sağlar. Ham maddelerin değirmen içerisinde aglomerasyonunu engeller. Düşük viskozite sağlayarak presleme sürecinde kalıplamanın daha kolay oluşmasını kontrol eder. Otomatik reçete makinelerinin kontrol ettiği mekanik bir sistemle tambur değirmenlere ham maddeler taşınır, bu kısımda ürün reçetesi girilmiş ham maddeler farklı oranlarda karıştırılarak aktarılır. Tablo 5.4’de fabrikanın çamur reçetesi verilmiş olup kullanılan ham maddelerin kullanım amaçları sırasıyla detaylandırılmıştır.

Tablo 5. 4. Çamur ham madde miktarları

Ham madde	Miktar (ton/yıl)	Miktar (g ham madde/g karışım)
Kaolin	6.868	0,042
Bentonit	4.576	0,028
Feldspat	9.151	0,056
Albit	4.576	0,028
Kil	4.576	0,028
Dolomit	4.576	0,028
Kuvars	4.576	0,028
Wollastonit	2.288	0,014
Mermer Tozu	2.288	0,014
Kalsit	1.144	0,007
Kireç	1.144	0,007
Alçı Taşı	1.144	0,007
Su	114.388	0,700
Elektrolit	3.268	0,020
Toplam	163.411	1

Kaynak: (Bilecik ilinde seramik karo üretimi yapan fabrika verileri, 2023)

Kaolin, seramik sektöründe özellikle beyaz ürünlerin üretiminde kullanılan ince taneli bir kil mineralidir. Yüksek alümina içeriği sayesinde mukavemet ve dayanıklılık sağlar. Seramik çamurunda plastiklik ve yüzey pürüzsüzlüğü kazandıran kaolin, aynı zamanda fırınlama sonrası ürünün beyazlığını artırarak estetik bir görünüm sunar.

Bentonit, yüksek plastiklik ve su tutma kapasitesi sağlayan bir kil t¼r¼d¼r. Seramik çamurlarında bağlayıcı ¼zellik kazandırır ve işlenebilirliği artırır. Ayrıca, seramik çamurlarında çatlamaları ¼nleyerek ¼r¼n¼n dayanıklılığını artırır.

Feldspat, seramik sır ve çamur form¼llerinde akışkanlık sağlayan bir bileşendir. Yüksek sıcaklıkta eriyerek seramik ¼r¼n¼n camlaşmasına katkıda bulunur. Bu ¼zelliđiyle ¼r¼n¼n mekanik dayanıklılığını artırır ve su geirmezlilik sağlar.

Albit, feldspat grubuna ait sodyum içeren bir mineraldir. Seramik ¼retiminde sıvı faz oluşumunu hızlandırarak fırınlama sıcaklığını d¼ř¼r¼r. B¼ylece enerji tasarrufu sağlar ve ¼r¼n¼n y¼zeyinde d¼zg¼n bir camlaşma sağlar.

Kil, seramik amurlarının temel malzemesidir. Yüksek plastiklik ¼zelliđi sayesinde şekillendirme s¼relerini kolaylaştırır. Fırınlama sırasında sertleşerek seramik ¼r¼n¼n temel yapısını oluşturur.

Dolomit, seramiklerde akışkanlık ve y¼zey d¼zg¼nl¼đ¼ sağlayan bir karbonat mineralidir. Magnezyum ve kalsiyum ierdiği için pişirme sırasında camlaşmayı destekler ve ¼r¼n¼n mukavemetini artırır.

Kuvars, seramik ¼r¼nlerin sertliğini artıran bir bileşendir. Fırınlama sırasında yüksek sıcaklıklara dayanıklılık sağlayarak ¼r¼n¼n şekil bozulmasını ¼nler. Aynı zamanda ¼r¼n¼n aşınma direncini artırır.

Wollastonit, seramik çamurlarına mekanik dayanıklılık ve termal çok direnci kazandıran bir kalsiyum silikat mineralidir. Pişirme sırasında çatlamaları ¼nler ve camlaşma s¼recine katkı sağlar.

Mermer tozu, seramik ¼retiminde dolgu maddesi olarak kullanılır. Hem maliyeti d¼ř¼r¼r hem de y¼zey d¼zg¼nl¼đ¼ sağlayarak estetik bir g¼r¼n¼m kazandırır.

Kalsit, seramik ¼r¼nlerinde beyazlık sağlayan bir karbonat mineralidir. Fırınlama sırasında eriyerek camlaşma s¼recine katkıda bulunur ve ¼r¼n¼n dayanıklılığını artırır.

Kireç, seramik çamuruna bağlayıcılık ve mekanik dayanıklılık kazandırır. Pişirme sırasında gaz salınımını kontrol ederek ¼r¼n¼n y¼zeyinde d¼zg¼n bir yapı oluşturur.

Alçı taşı, yüksek su emme kapasitesine sahiptir ve seramik çamurunun şekillendirilmesini kolaylaştırır. Ayrıca, kalıpların y¼zey kalitesini artırır ve tekrarlı kullanıma uygun hale getirir. Tablo 5.4'te yarı mamul karışım ham maddeleri verilmiştir.

Seramik üretiminde kullanılan sprey kurutucular konik şekilli mekanizmalardır. Dışarıdan aldığı havayı ısıtarak çamur üzerine püskürtür ve bu çamurlar sistem içerisindeki metal duvarlara atomizerler yardımıyla çarptırılarak nemi alınır ve yaklaşık olarak aynı boyutlarda granüller oluşturulur. Granüllerin nemi yaklaşık olarak %5 kadardır. Oluşturulan granüller konveyör bantlarla silolara depolama amacıyla gönderilir. Sprey kurutucudan küre formda çıkan granüller, presleme makinelerinin depo bölümüne aktarılır. Pres makinelerine gelen granüller 500-900 MPa basınç altında sıkıştırılır. İstenilen boyut ve yüzey şekilleri burada oluşturulur.

Pres makinelerinden çıkan şekilli ham maddeler rulmanlar yardımıyla kurutma fırınlarına gönderilir. Burada nem daha çok düşürülerek bisküvi yani yarı mamul olmak için ilk adım atılır. Kurutma işlemi, ham maddelerin daha sonraki aşamalarda işlenmesi için gerekli olan uygun neme sahip olmasını sağlar. Burada belirli forma girmiş karışımın nemi %0,5 düzeyine kadar düşürülür. Kurutma fırınlarının sıcaklığı 250 °C-500 °C arasında değişmektedir. Çift pişirim teknolojisi ile yapılan bu süreç, ürünlerin termal dayanıklılığını arttırmaktadır.

Kurutucudan çıkan karolar, yüksek sıcaklıkta pişirilmek amacıyla fırınlara gönderilir. Fırınlama işlemi, seramik malzemelerin sertliğini ve dayanıklılığını artırır. Bu bölüm ürün rengi, ürünün konveks veya konkav şeklinin ayarlanmasında önemli rol oynamaktadır. Fırın sıcaklıklarını ve pişme süresini dikkatli bir şekilde ayarlamak önemlidir. Karolar ateş bölgesine gelmeden önce ön ısıtma bölgesinde yaklaşık 900°C sıcaklığa ulaşarak bünyesindeki gaz ve sıvıları dışarı atar. Bu bölümde gazların dışarı atılması sırasında oluşan gözenekli yapılar yüzey bozulmalarına sebep olabilir. Bu yüzden fırın sıcaklık dengeleri, engob ve sır oranları iyi oranda yapılmalıdır. Pişme aşamasına gelmeden önce sır içerisindeki tüm gazları dışarı atmış olmalıdır.

Fırınlarda ateş bölgesi adı verilen, fırının yaklaşık olarak orta kısmına denk gelen ürün sıcaklığının 1250 °C tepe sıcaklığa kadar ulaştığı noktalarda sır ergir. Yarı ürünün soğumaya başladığı ve fırından 600-800 °C yaklaşık sıcaklığında çıktığı kritik soğutma bölgeleri, gösterge panellerinden izlenebilmektedir. Son soğutma aşamasında ortam sıcaklığı kullanılarak sıcak hava fırın içinden çekilir.

Üretime alınmak ve sırlanmak amacıyla bisküvi dolu sehpalara, sırlama bölümüne uzaktan kumandalı araçlar ile taşınır. Sır ham maddeleri tanklarda karıştırıldıktan sonra değirmenlere aktarılır. Bisküviler sırayla pompalı cihazlar yardımıyla sırlama bantlarına

yerleştirilir. Püskürtme makineleri ile bisküvi bir miktar nemlendirilir çünkü engob ve sır çok sıcak bisküvi yüzeyine temas ettiğinde pişme aşamasında bozulmalar yaşanabilir. Engob ve sır püskürtme yöntemiyle bisküvi yüzeyine uygulanmaktadır. Engob genellikle kampana sistemi ile yüzeye uygulanır. Eğer karo tek pişirimse, kurutmadan çıkan karo, nozullar yardımıyla sır ve engob püskürtülerek ya da kapmana sistemi ile veya her iki sistemde kullanılarak, dijital baskı bölümünden sonra direkt olarak fırına pişirmeye gönderilir. Eğer karo çift pişirim ise fırında pişen bisküvi aynı aşamalardan geçerek tekrar fırına pişmeye gönderilir.

Nozul ile püskürtme sistemi, sır kullanımını oldukça azaltarak ekonomik verim sağlamaktadır. Aynı zamanda ürün üzerinde kampana sisteminden kaynaklanan fazla malzeme birikiminden doğan yüzey dalgalanmalarını engellemektedir.

Püskürtme sistemi sırlama harici bisküviye su ilavesi yapmak amacıyla da kullanılmaktadır. Böylece engob ve sırnın yüzey ve birbirleri ile uyumu daha kolay sağlanmaktadır. Ancak sırnın bünyeye daha iyi entegre olması isteniyorsa kampana sistemi ile engoblama yapılabilir.

Engob, seramik yüzeylerin estetik ve işlevsel özelliklerini geliştirmek amacıyla kullanılan, su ile karıştırılmış ince bir kil veya mineral bazlı kaplama malzemesidir. Genellikle seramik yüzeylere, sırlama işleminden önce uygulanır ve alttaki gövde ile sır arasında bir ara katman görevi görür. Engobun temel amacı, seramik ürünlere homojen bir yüzey sağlamak, renk tonunu dengelemek ve dekoratif desenlerin uygulanmasını kolaylaştırmaktır.

Engob, yüzeyde pürüzsüz bir kaplama oluştururken seramiğin gövde rengi ile son kat rengi arasında bir uyum sağlar. Aynı zamanda gözenekliliği azaltarak seramiğin dayanıklılığını artırır ve sırnın daha etkili bir şekilde tutunmasını sağlar. Farklı renk pigmentleri eklenerek estetik bir görünüm kazandırılabilir. Engobun bu özellikleri, özellikle karo ve dekoratif seramik üretiminde onu vazgeçilmez bir bileşen haline getirir. Tablo 5.5'te fabrikaya ait engob ham madde miktarları verilmiştir. Bu malzeme formülasyonları çamur, engob ve sırlar için firmadan firmaya farklılık göstermekte olup kendine özgüdür.

Kaolin, seramik engoblarının temel bileşenlerinden biridir ve yüzeyde homojen bir kaplama sağlayarak yüzey pürüzsüzlüğünü artırır. Aynı zamanda beyaz rengi ile engobun estetik görünümüne katkıda bulunur ve sırlama işlemi öncesinde yüzey düzgünlüğünü optimize eder.

Silika, engob karışımında sertlik ve dayanıklılık kazandıran bir maddedir. Pişirme sırasında camlaşma sürecini destekler ve yüzeyin aşınma direncini artırır. Bu özellikleri sayesinde engob tabakasının yapısını güçlendirir.

Tablo 5. 5. Engob ham madde miktarları

Ham madde	Miktar (ton/yıl)	Miktar (g ham madde/g karışım)
Kaolin	10.723	0,150
Potasyum feldspat	8.579	0,120
Kalsiyum karbonat	6.434	0,090
Zirkonyum silikat	4.289	0,060
Magnezyum silikat	4.289	0,060
Demir oksit	2.145	0,030
Titanyum dioksit	2.145	0,030
Çinko oksit	1.287	0,018
Beyaz kil	3.002	0,042
Su	28.597	0,400
Toplam	71.490	1

Kaynak: (Bilecik ilinde seramik karo üretimi yapan fabrika verileri, 2023)

Potasyum feldspat, engob bileşenlerinde akışkanlık sağlayarak yüzeyde homojen bir dağılım elde edilmesine yardımcı olur. Yüksek sıcaklıkta eriyerek camlaşmayı destekler ve engobun yüzey pürüzsüzlüğünü artırır.

Kalsiyum karbonat, seramik engobunda beyazlık ve parlaklık sağlayan bir dolgu malzemesidir. Pişirme sırasında gaz salınımını kontrol ederek yüzeyde çatlakların oluşmasını önler ve engobun stabilitesini artırır.

Zirkonyum silikat, engobun opaklık ve dayanıklılık özelliklerini artıran önemli bir bileşendir. Özellikle seramik karo üretiminde kullanılan engoblarda mat ve opak bir yüzey elde etmek için tercih edilir.

Magnezyum silikat, engob karışımına termal dayanıklılık kazandırır ve yüksek sıcaklıklarda yüzeyin sabit kalmasını sağlar. Ayrıca, engobun esnekliğini artırarak pişirme sırasında oluşabilecek çatlakları önler.

Demir oksit, engoba renk veren doğal bir pigmenttir. Renkli seramik ürünlerde istenen tonların elde edilmesini sağlar ve aynı zamanda yüzeyin dekoratif özelliklerini güçlendirir.

Titanyum dioksit, engobun beyazlık derecesini artıran ve ultraviyole ışınlarına karşı direnç sağlayan bir bileşendir. Estetik açıdan parlak ve dayanıklı yüzeyler oluşturulmasında kritik bir rol oynar.

Çinko oksit, engobun yüzey sertliğini ve pürüzsüzlüğünü artırır. Aynı zamanda sırnın yüzeye tutunmasını kolaylaştırarak ürünün dayanıklılığını artırır. Renkli engoblarda kullanılan pigmentlerin performansını da destekler.

Beyaz kil, engobun plastik yapısını güçlendirerek yüzeyde homojen bir tabaka oluşmasını sağlar. Özellikle yüksek beyazlık gerektiren seramik ürünlerde tercih edilir ve sır uygulaması öncesi düzgün bir yüzey sağlar. Bu ham maddelerden en önemlileri en çok kullanılanları kaolin ve feldspattır. Diğer ham maddelerin miktarı az ya da çok birbirinden farklılık gösterebilirler.

Sır, seramik ürünlerin yüzeyine uygulanan, estetik ve işlevsel özellikler kazandıran camlaşmış bir kaplama malzemesidir. Temel amacı, seramik yüzeyin dayanıklılığını artırmak, su ve kimyasal maddelere karşı koruma sağlamak ve ürünün görsel çekiciliğini artırmaktır. Sır, genellikle feldspat, kuvars, kaolin gibi ham maddelerin belirli oranlarda karıştırılmasıyla oluşturulur ve yüksek sıcaklıklarda pişirilerek seramik yüzeyde cam benzeri bir tabaka oluşturur.

Sır, seramik ürünlere renk, parlaklık, matlık gibi görsel özelliklerin yanı sıra pürüzsüzlük, su geçirmezlik ve hijyenik bir yüzey gibi işlevsel özellikler kazandırır. Aynı zamanda, sır uygulaması, seramiğin altında bulunan ham maddeleri dış etkenlere karşı koruyarak ürünün ömrünü uzatır. Sırlama işlemi hem dekoratif hem de teknik amaçlarla seramik sektörünün vazgeçilmez bir adımıdır. Tablo 5.6'da sır bileşenleri verilmektedir ve sır üretiminde kullanılan ham maddelerle ilgili bilgi sunulmuştur.

Kaolin, sır ham maddesi olarak da kullanılmaktadır. Viskoziteyi kontrol eder, yüzeyde düzgün bir tabaka oluşturur, mat bir görünüm elde eder.

Kuvars, sırnın camsı yapısını oluşturur ve dayanıklılığı arttırarak yüzeyi sertleştirir, ısı dayanıklılığı sağlar.

Feldspat, düşük sıcaklıklarda eriyerek, sır yüzeyinde flux etkisi yaratır, camlaşma sürecini hızlandırır.

Zirkonyum silikat, aynı şekilde opaklık ve kimyasal direnç sağlar, rengin homojen olmasını düzenler. Beyaz veya opak sırlarda mutlaka kullanılır.

Tablo 5. 6. Sır ham madde miktarları

Ham Madde	Miktar (ton/yıl)	Miktar (g ham madde/g karışım)
Kaolin	5.717	0,125
Kuvars	5.717	0,125
Potasyum feldspat	6.860	0,150
Kalsiyum karbonat	2.287	0,050
Zirkonyum silikat	2.287	0,050
Su	22.868	0,500
Toplam	45.736	1

Kaynak: (Bilecik ilinde seramik karo üretimi yapan fabrika verileri, 2023)

Sırlama bölümünden sırayla bantlar yardımıyla uzaklaşan sırlı pişmemiş karolar, dijital baskı bölümüne gelirler. Fabrikada kullanılan yüksek çözünürlüklü inkjet baskı makinelerinde, sarı, pembe ve mavi renkler karıştırılarak desenlerin yüzeye kusursuz bir şekilde aktarılması sağlanır. Bu işlemler tasarım ekibinin oluşturduğu görsellerin kararlaştırılmasından sonra uygulanır. Bu aşamadan sonra pişmemiş sırlı bisküviler ya tepsiler yardımıyla taşınarak bekleme alanına alınır ya da direkt olarak elektrikli araçlarla pişmeye götürülür. Uzaktan kumandalı araçlarla tepsilere dizilmiş şekilde fırın girişine götürülen karolar sırayla fırına verilir. Fırın iki kattan oluşur. Alt kattan bisküvi adı verilen malzeme, üst kattan sırlı, seramik karo denilen nihai ürün pişerek çıkmaktadır. Belirli bir süre sonunda fırından çıkan ürün tepsilere bantlar ve asansör sistemi ile yerleştirilir. Fırından çıkan ürünlerin kalitesi tasarım ekibi ve teknik ekip tarafından kontrol edilir. Ürünlerin iç bükey ve dış bükey eğimlerine, renginin istenen tonda olup olmadığına bakılır. Hatalı ürünlerin, üretimin hangi aşamasında sorun yaşadığı teknik ekip tarafından tespit edilir ve o bölümde iyileştirmeler yapılır. Yine araçlarla ürünler ebatlama bölümüne taşınarak keskin ve daha milimetrik kenar ve köşeler oluşturularak yapı sektöründe kullanımı kolay ve estetik hale getirilir. Burası üretimin gürültü ve toz yoğun bölgesidir.

Ebatlama bölümünden çıkan ürünler kalite kontrol bölümüne gelerek, burada çalışan kadın işçiler tarafından yüzey kontrolü yapılır. Kalite bölümünden çıkan ürünler, kalite standartlarına göre pompalı cihazlar yardımıyla tutularak ve tek tek ayrılarak paketleme bölümüne taşınır. Ebatlama bölümünden paketleme aşamasına dek gelen ürünün tüm hataları burada cihazlar yardımıyla otomatik olarak ayıklanır, kalite kontrol ekibi ile saptanan ürün hataları çözüme ulaştırılır, hatanın kaynaklandığı üretim birimi bulunarak iyileştirmeler yapılır.

Karolar, paketleme bölümünde belirlenen adet kadar karton kutular ve plastik aparatlarla paketlenir. Paketleme bölümünde, ürünler 3 kalite aşamasına göre otomatik olarak ayrılır ve paketlenerek, tüketiciye teslim edilmek amacı ile yüklenir.

Tüm bu süreçler boyunca fabrikada enerji kaynağı olarak doğal gaz ve elektrik kullanılmaktadır. Bu yakıtlar, fırınlar başta olmak üzere kurutucu fırınlar, sprey kurutucular, değirmenler gibi önemli üretim departmanlarında, kullanılmaktadır. Tablo 5.7’de fabrikaya ait doğal gaz ve elektrik tüketim miktarları verilmiştir.

Tablo 5. 7. Toplam yıllık enerji tüketimi

Konum	Elektrik (GWh)	Doğal gaz (GJ)
Bozüyük	44	1.560.000
Bilecik	70	995.696
Toplam	114	2.594.861

Kaynak: (Bilecik ilinde seramik karo üretimi yapan fabrika verileri, 2023)

Tablo 5.8’de üretime katmak için alınan atıklar görülmektedir.

Tablo 5. 8. Dışarıdan aldığı atık çeşidi ve miktarı

Diğer Atık çeşidi	Miktar (ton/yıl)
Ahşap	220
Metaller	78
Demir çapağı ve talaş	60
Kâğıt ve karton ambalaj	370
Toplam	728

Kaynak: (Bilecik ilinde seramik karo üretimi yapan fabrika verileri)

Seramik üretimi kirli bir süreç olup daha ham madde taşınması sırasında ve bunları öğütme sırasında toz atığı ve ince partikül atıkları meydana gelmektedir. Değirmenlerde elektrolit ve suyun kullanımı sırasında sıvı atıklar ortaya çıkmaktadır. Presleme bölümünde

oluşan kırıklardan kaynaklı ve fazla kalan çamur artığından kaynaklı atıklar oluşmaktadır. Kurutmada enerji verimliliği düşük olduğundan ısı kayıpları söz konusudur. Sır ve engobun uygulanma yöntemi ve tanklarda malzeme kalması sebebiyle atık oluşmaktadır. Pişme sırasında deforme olan seramik karolar nedeniyle atıklar meydana gelmektedir. Ebatlama sırasında hatalı kesim ve kenar kırıntıları oluşmaktadır. Paketleme bölümünde kâğıt ve karton atıkları söz konusudur. Hatalı paketleme sonucunda oluşan ambalaj atığı ya da kontrol amaçlı paketlenmiş ürünün açılmasıyla oluşan ambalaj atıkları bulunmaktadır. Metal atıkları, demir çapağı ve talaş, ahşap atıkları görülmektedir.

Tablo 5.8'e göre firmanın üretime yeniden kazandırmak amacıyla aldığı atık toplamı yılda 728 ton olarak görülmektedir. Tablo 5.9'da 2016 ve 2023 yılları arasında firmanın toplamda 110 ton atık oluşturup gönderdiği görülmektedir., 2017 yılına ait veri bulunamamaktadır.

Tablo 5. 9. Yıllara bağlı üretilen ve gönderilen atık

Yıl	Atık (ton)
2023	18
2022	21
2021	21
2020	17
2019	15
2018	15
2017	-
2016	3
Toplam	110

Kaynak: (Bilecik ilinde seramik karo üretimi yapan fabrika verileri, 2023)

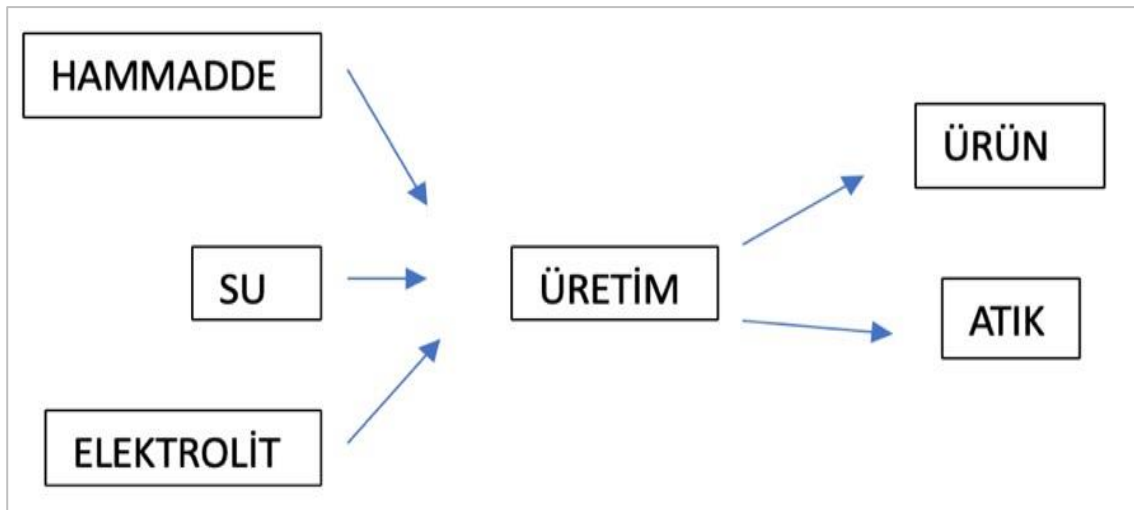
6. HESAPLANAN GÖSTERGELER

Çalışmanın bu kısmında seramik üretimine ait çevresel etkiler hesaplanarak en fazla çevresel etkiye sebep olan aşamalar belirlenmiştir. En fazla etkinin geldiği noktalar için iyileştirme olanakları değerlendirilmiştir. Bu bölümde enerji, ham madde ve su tüketimine ait verilere bağlı hesaplamalar yapılarak yorumlama için sonuçlar çıkarılmıştır. Bölüm 7.3’de ise belirlenen iyileştirme alternatifleri ile çevresel sürdürülebilirliğe sağlanabilecek katkılar sunulmuştur.

Bu bölümde ham madde, enerji ve su tüketimi değerleriyle birlikte atık yönetimi verileri hesaplanarak kaynak verimliliği için iyileştirme noktaları belirtilmiştir. Çalışmada ayrıca ham madde nakliyesi ve üretimden kaynaklanan sera gazı emisyonu hesaplamaları yapılarak çevresel sürdürülebilirliğin iyileştirilmesi için temel oluşturulmuştur.

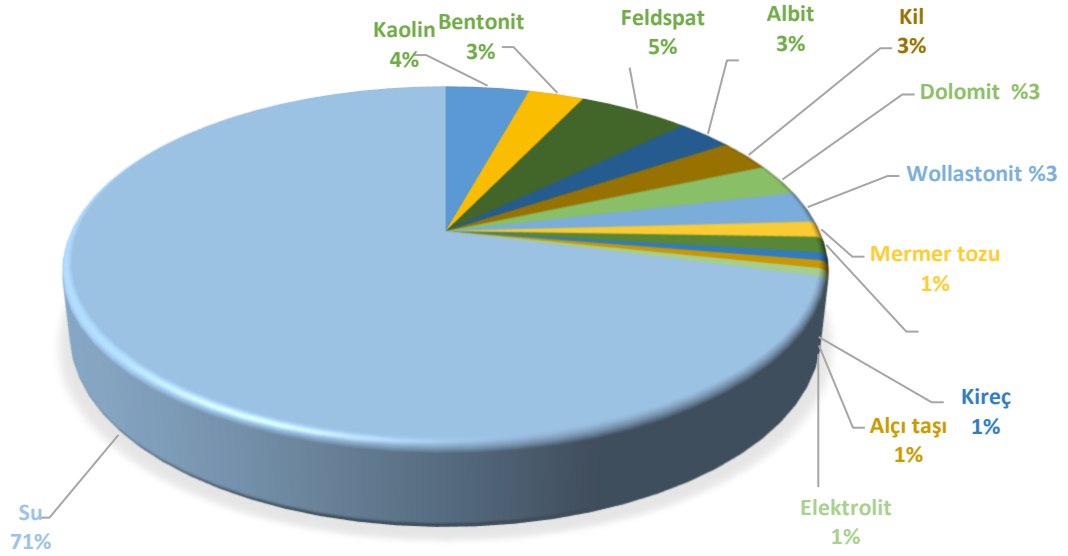
6.1 Ham Madde Tüketimi

Kütle denkliliği hesaplamaları, seramik üretim sürecindeki ham maddelerin tüketimi, ürün çıktısı ve atık oluşumu arasındaki ilişkinin analiz edilmesini sağlar. Bu analiz, üretim süreçlerinin verimliliğini artırmak ve çevresel etkileri minimize etmek için kritik öneme sahiptir. Fabrika verilerine göre, ham maddelerin kullanımı ve çıktıları detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Aşağıda proses girdisi olarak kullanılan sır, engob ve çamur bileşenlerin dağılımı Grafik 6.1, Grafik 6.2 ve Grafik 6.3’te verilmiştir. Kütle denkliliği şeması Şekil 6.1’de, proses girdileri Tablo 6.1’de, proses çıktıları ise Tablo 6.2’de yer almaktadır.



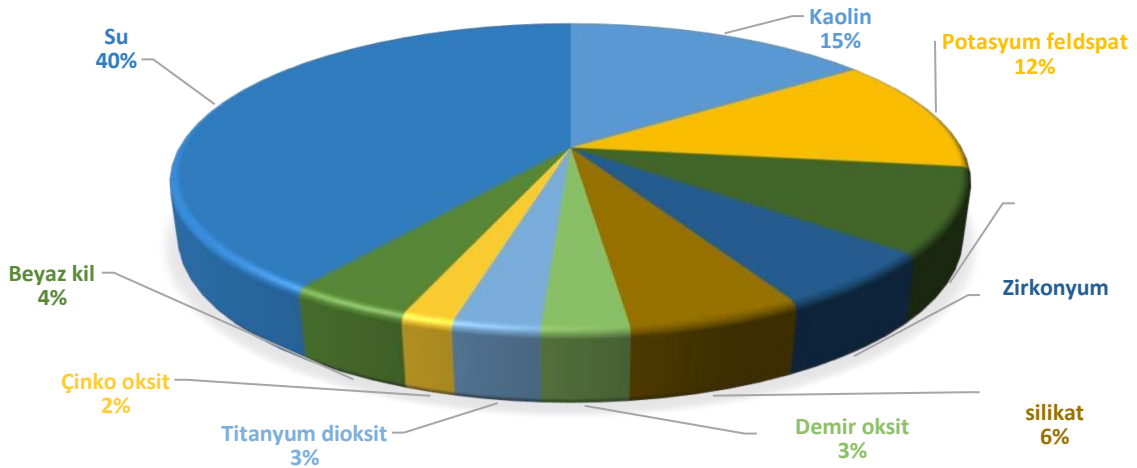
Şekil 6. 1.Söz konusu tesis için kütle denkliliği şeması

Grafik 6.1’de en çok kullanılan çamur ham maddelerinin %5 oran ile feldspat, %4 oranla kaolin olduğu görülmektedir. Bu ham maddelerin kullanım oranlarının yorumları bölüm 7.2.1’de verilmiştir.



Grafik 6. 1. Çamur ham madde dağılımı

Grafik 6.1’de en çok kullanılan çamur ham maddelerinin %5 oran ile feldspat, %4 oranla kaolin olduğu görülmektedir. Bu ham maddelerin kullanım oranlarının yorumları bölüm 7.2.1’de verilmiştir.



Grafik 6. 2. Engob ham madde dağılımı

Grafik 6.2’de ham madde dağılımına bakıldığında %15 oranla en çok kaolin, %12 oranla potasyum feldspat ham maddelerinin engob yapımında kullanıldığı görülmüştür. Bölüm 7.2.1’de engob ham maddelerinin kullanım oranlarının yorumları sunulmuş ve tartışılmıştır.



Grafik 6. 3. Sır ham madde dağılımı

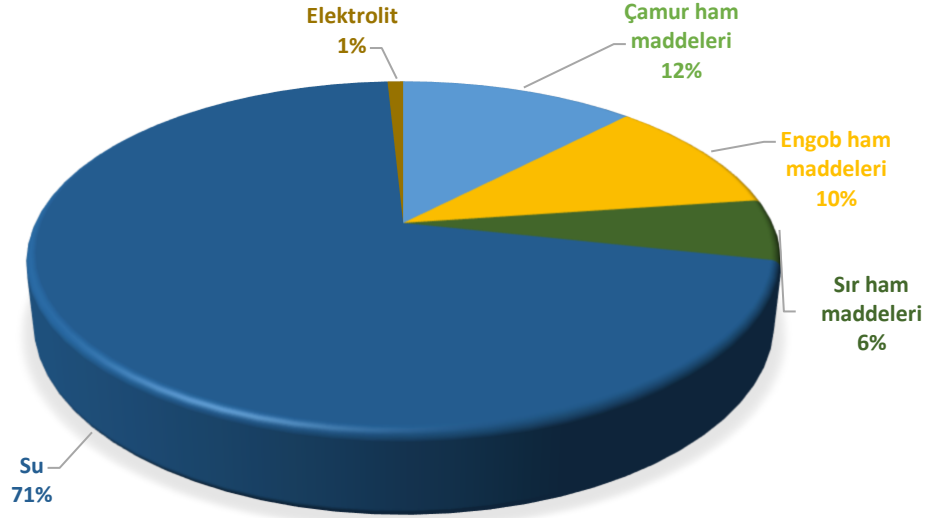
Grafik 6.3'e bakıldığında sır üretiminde kullanılan ham maddelerin yüzdesel dağılımı verilmiştir. Grafik, sırn bileşiminde en yüksek oranı suyun (%55) oluşturduğunu, bunu sırasıyla potasyum feldspat (%14), kaolin (%11), kuvars (%11), zirkonyum silikat (%5) ve kalsiyum karbonatın (%4) takip ettiğini göstermektedir. Bu oranlar, sırn fiziksel ve kimyasal özelliklerini etkileyen kritik bileşenlerin önemini yansıtmaktadır.

Bu bölüme ait grafiklerin ortak sonucu olarak çamur, engob ve sır yapımında kaolin ham maddesinin önemli bir rol teşkil ettiği sonucuna varılmıştır. Aşağıda ki tabloda verilen verilerin kütle denklığıne ait hesaplamalar EK-1'de verilmiştir.

Tablo 6. 1. Ham madde girdileri

Girdiler	Miktar (ton/yıl)
Kuru bisküvi ham maddesi	49.203
Kuru engob ham maddesi	42.896
Kuru sır ham maddesi	22.868
Su	200.000
Elektrolit	3.268
Toplam	318.235

Tablo 6.1'de sır, engob ve çamur yapımında tüketilen ham madde miktarları ile kullanılan su miktarı girdi olarak verilmiştir. Görüldüğü üzere üretimin başlaması için kullanılan toplam miktar yılda 318.235 ton olarak verilmiştir.



Grafik 6. 4. Proses girdi dağılımı

Tablo 6.2’de hesaplama sonuçları sunulmuştur ve Grafik 6.4’te tüm girdilerin yüzdeleri verilmiştir. Buharlaştan su %99’dur, bu doğrultuda suyun %1’i atık su olarak sistemi terk etmektedir. Katı atıklar toplam kuru madde miktarının %2’sini ve karodan pişme sırasında uzaklaşan gaz nihai ürünün %2’si’dir. Katı atıklar içinde deforme ürünlerin %’si bilinmediğinden tamamı kuru madde kaybı olarak kabul edilmiştir.

Tablo 6. 2. Tüm proses çıktıları

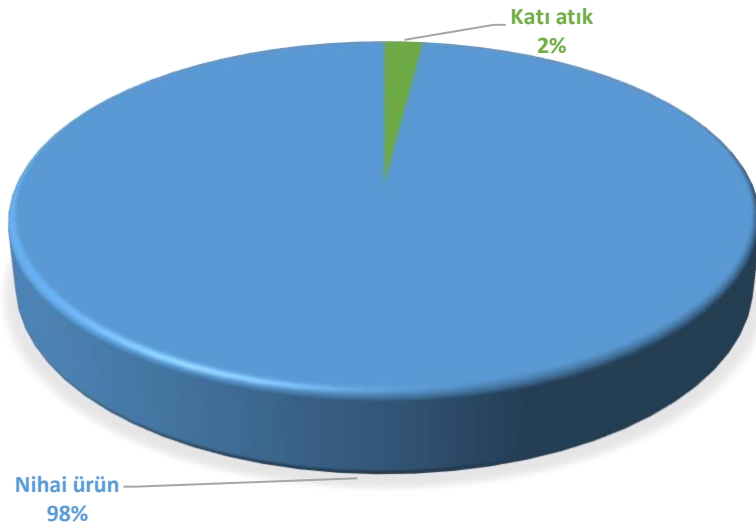
Çıktılar	Açıklama	Miktar (ton/yıl)	%
Ürün	Fırın çıkışı	110.814	98
Buharlaştan su	Kurutma ve fırınlama sırasında buharlaşan toplam su	198	99
Atık su	Su girdisinin atık olarak çıkan kısmı	5.719	1
Katı atık	Ham madde karışımı sırasında çıkan atık	2.299	2
Bünye gazı	Fırınlama sırasında çıkan gazlar	2.261,520	2

Uçucu bileşenler, buharlaşan su ve bünye gazlarıdır, su girişte tüm ham madde toplamının %71 gibi bir kısmını oluşturmaktadır. Üretim sonucu elimizde kalanlar, ürün ve kuru ham madde kaybı olan katı atıktır. Aşağıda net proses çıktıları Tablo 6.3’te verilmiştir. Nihai ürün yorumu ham madde tüketimi ile ilgili tartışmalar bölümünde verilmiştir.

Tablo 6. 3. Net proses çıktıları

Çıktı	Miktar (ton/yıl)	%
Nihai ürün	110.814	98
Katı atık	2.299	2
Toplam	113.113	100

Tablo 6.3'e göre nihai ürün miktarı 110.814 ton/yıl, katı atık miktarı 2.299 ton/yıl olarak hesaplanmıştır. Toplamda net proses çıktısı 113.113 ton/yıl olarak hesaplanmıştır. Bu çıktı içerisinde elektrolitler katı formulu bileşenler olduğundan bünyede kalmıştır.

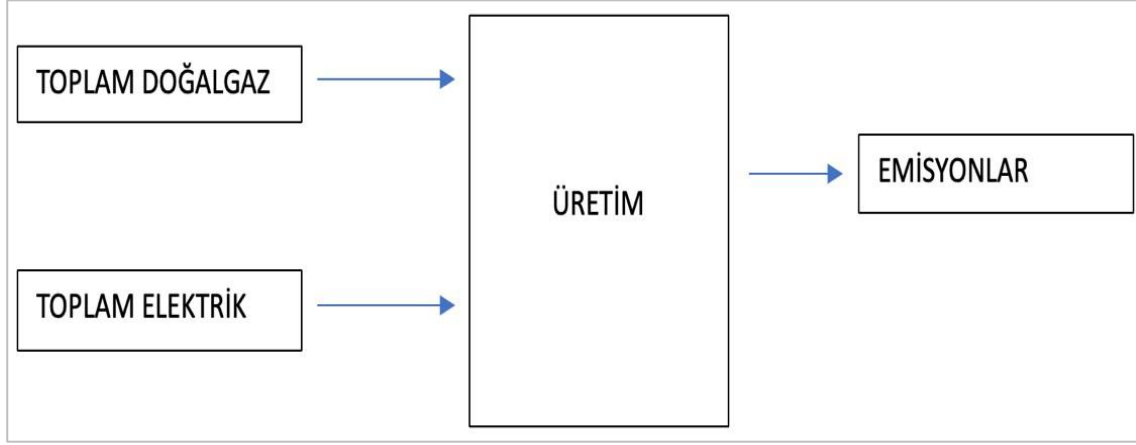


Grafik 6. 5. Nihai ürün % grafiği

Yukarıda Grafik 6.5'te hesaplanan proses çıktıları yüzde olarak verilmiştir. Sonuç olarak %98 oranında ürün çıktığı görülmektedir.

6.2 Enerji Tüketimi

Enerji tüketimi hesaplamaları, seramik fabrikasının enerji tüketimi ve verimlilik performansını ölçmek için kritik bir araçtır. Bu analiz, üretim süreçlerindeki enerji tüketiminin kaynaklarını, miktarını ve bu tüketimin çevresel etkilerini detaylı bir şekilde ortaya koyabilmemiz için bize istediğimiz temel verileri sağlar. Enerji denkleği şeması Şekil 6.2'de verilmiştir. Bu şemaya bakıldığında üretim sürecinde enerji olarak tüketilen doğal gaz ve elektriğin sonucunda çıkış olarak sera gazı emisyonları oluşmaktadır. Bölüm 6.3'te sera gazı emisyonları ile ilgili hesaplamalar sunulmuştur.



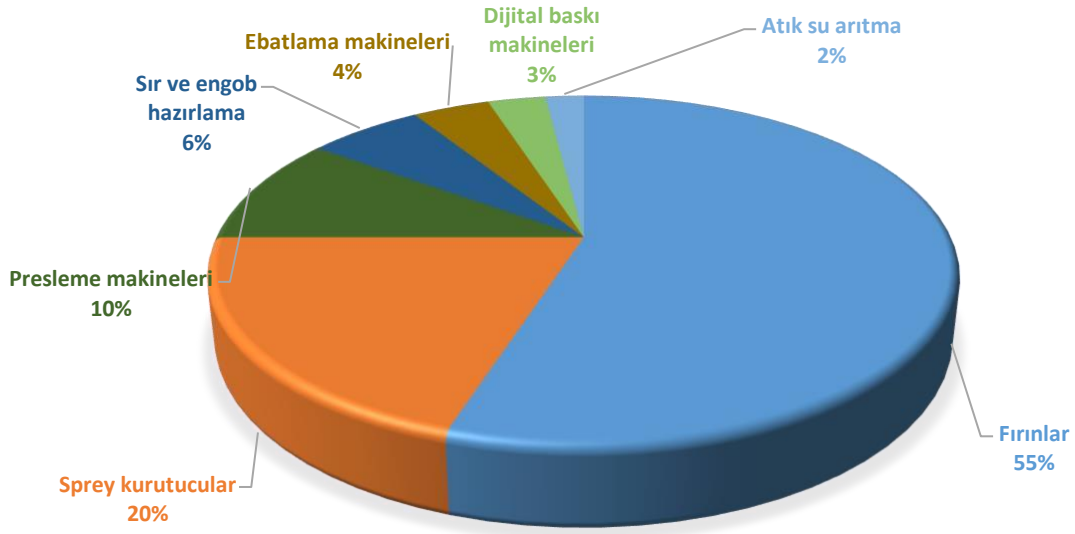
Şekil 6. 2. Söz konusu tesis için enerji denklığı şeması

Tablo 6.4'te bir yılda toplam tüketilen elektrik ve doğal gaz miktarı verilmiştir, Grafik 6.6 ve Grafik 6.7'de ise elektrik ve doğal gazın sistemlere dağılımı yüzde olarak gösterilmiştir. Bu oranlar doğrultusunda tüketilen enerjiler GWh ve GJ cinsinden ifade edilmiştir. Toplam tüketilen doğal gaz ve elektrik verilerinden ortaya çıkan emisyonların hesaplanması mümkündür. En çok enerjinin hem elektrik hem doğal gaz tüketiminde, fırınlarda ki pişirme sürecinde harcandığı görülmektedir.

Tablo 6.4, üretim sürecinde tüketilen elektrik ve doğalgaz miktarlarını göstermektedir. Fırınlara, 62,7 GWh elektrik ve 1.894.247 GJ doğalgaz ile en yüksek enerji tüketimine sahiptir. Sprey kurutucular ise 22,8 GWh elektrik ve 596.817 GJ doğalgaz tüketimiyle ikinci sıradadır. Diğer süreçler daha düşük enerji tüketim değerlerine sahipken, toplamda 114 GWh elektrik ve 2.594.860 GJ doğalgaz tüketildiği görülmektedir.

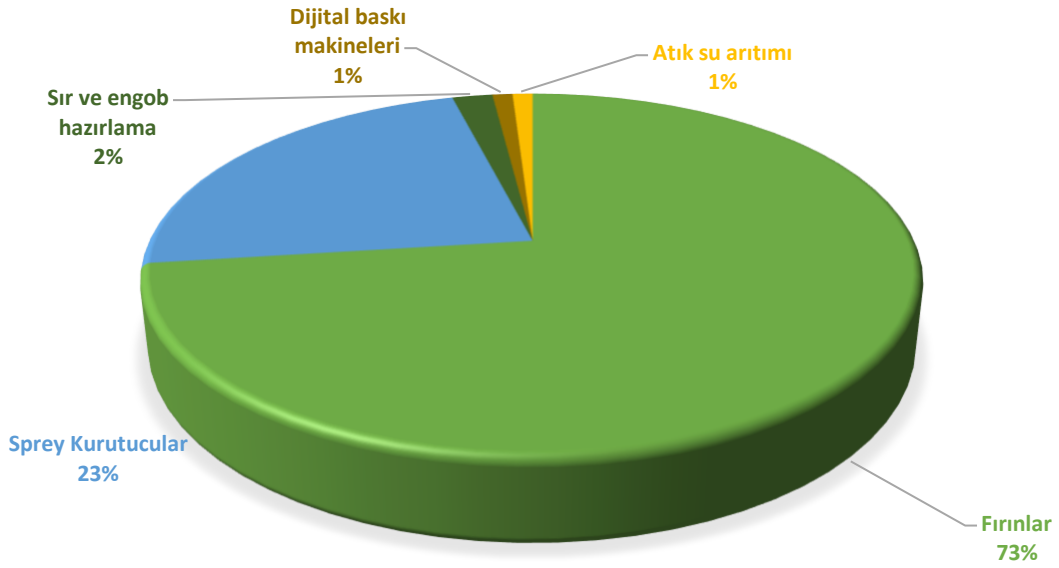
Tablo 6. 4. Üretim sürecinde tüketilen elektrik ve doğal gaz dağılımı

Süreç	Elektrik (GWh)	Doğal gaz (GJ)
Fırınlara	62,7	1.894.247
Sprey kurutucular	22,8	596.817
Presleme makineleri	11,4	-
Sır ve Engob hazırlama	6,84	52.897
Ebatlama ve Paketleme	4,56	-
Dijital baskı makineleri	3,42	25.958
Atık su artımı	2,28	25.958
Toplam	114	2.594.860



Grafik 6. 6. Toplam elektrik tüketiminin sürece % dağılımı

Grafik 6.6’da fırınların elektriği tüketen en yoğun bölge olduğu sonucuna varılmıştır.



Grafik 6. 7. Toplam doğal gaz tüketiminin üretim sürecine % dağılımı

Elektrik ve doğal gaz tüketiminin sürece yönelik dağılımı Grafik 6.6 ve Grafik 6.7’de verilmiştir. Fırınların doğal gaz tüketiminin en yoğun olduğu proses sonucuna varılmıştır.

6.3 Sera Gazı Emisyonu

Fabrika üretim sırasında doğal gaz ve elektrik tükettiğinden sonuç olarak bir emisyon ortaya çıkmaktadır. Firmada seramik üretiminden kaynaklı doğal gaz yakıtı kullanımı sırasında, azot oksitler (NO_x), su buharı (H₂O) ve metan gazı (NH₄) emisyon gazları atmosfere salınmaktadır. Hidrojen fuel oil (HFO) için ise bu gazlar karbon dioksit (CO₂), metan gazı

(NH₄) ve dinitrojen oksit (N₂O) olmaktadır. Karbon ayak izi süreç boyunca atmosfere salınan sera gazlarının karbondioksit cinsinden değeri olarak ifade edilir. Çalışmamızda karbon ayak izi hesaplaması uluslararası standartlar ve yöntemler olan ISO 14064 – 1:2006 (ISO, 2006) ve GHG Protokol (Ranganathan et al., 2015) standartlarına göre yapılmıştır. Bu standartlara göre karbon ayak izi hesaplamaları farklı kapsamlara göre yapılmaktadır. Kapsam I (doğrudan emisyonlar), Kapsam II (dolaylı emisyonlar), Kapsam III (diğer dolaylı emisyonlar) olmak üzere detaylandırılır.

Bu çalışmada, Kapsam I fabrikanın yakıt tüketimini, Kapsam II elektrik tüketimini, Kapsam III ile hesaplanan karbon ayak izi ise ham madde nakliyesi ve atık bertarafını içermektedir. Hesaplamalar için fabrikanın 2023 yılına ait verileri kullanılmıştır.

$$* FKA_{(n1)} tCO_2 eq = Faaliyet\ verisi \times CO_2eşdeğeri \quad (6.1)$$

$$**TKA_{(n\ toplam)} tCO_2 eq = FKA_{n1} + FKA_{n2} + FKA_{n3} + \dots \quad (6.2)$$

*FKA; Faaliyet Karbon Ayak İzi

**TKA: Toplam Karbon Ayak İzi

Denklem (6.1) ve (6.2) kullanılarak yapılan hesaplamalara ait sonuçlar aşağıda sunulmuştur. Bu hesaplamalar sonucunda Tablo 6.4'e bakıldığında emisyonun en büyük sebebi 147.521 t CO₂ eşd. ile doğal gaz tüketimi olmuştur. Tablo 6.5'e göre ham madde nakliyesinden kaynaklanan emisyon tüketimi 434 t CO₂ eşd. olarak hesaplanmıştır. Tablo 6.6'da ise atıklardan kaynaklanan emisyon 344 t CO₂ eşd. olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar bize sera gazı emisyonunu azaltmak adına önemli sonuçlar sunmaktadır. Fabrikadan alınan verilerin ışığında aşağıda bölüm 7'de hem sonuçlar hem de yorumlar verilmiştir.

Tablo 6. 4. Enerji tüketiminden kaynaklanan emisyonlar

Enerji	Yıllık Tüketim (GWh)	Emisyon faktörü (kg CO ₂ /GWh)	Yakıt tüketimi (t CO ₂ eşd.)
Doğal gaz	721	0,205	147.521
Elektrik	114	0,590	76.206
Toplam	835		223.727

Tablo 6. 5. Ham madde nakliyesinden kaynaklanan emisyonlar

Ulaşım	Katedilen yol (km)	Emisyon faktörü (kg CO ₂ /km)	Lojistik (t CO ₂ eşd.)
Uzun araç	4.996	1,027	22
Gemi	15.600	25,1	392
Toplam	20.566		434

Tablo 6.5, ham madde nakliyesinden kaynaklanan emisyonları göstermektedir. Uzun araçlarla 4.996 km’lik taşımada 22 tCO₂ eşd., gemi taşımacılığında ise 15.600 km’lik mesafede 392 tCO₂ eşd. emisyon hesaplanmıştır. Toplam nakliye kaynaklı emisyon miktarı 434 tCO₂ eşd. olarak belirlenmiştir.

Tablo 6. 6. Atıklardan kaynaklanan emisyonlar

Atık türü	Miktar (ton)	Emisyon faktörü (kg CO ₂ /ton)	Atık (tCO ₂ eşd.)
Kâğıt atıklar	370	1042,2 kg CO ₂ /ton	385
Organik atıklar	590	587,7 kg CO ₂ /ton	356
Toplam	960		741

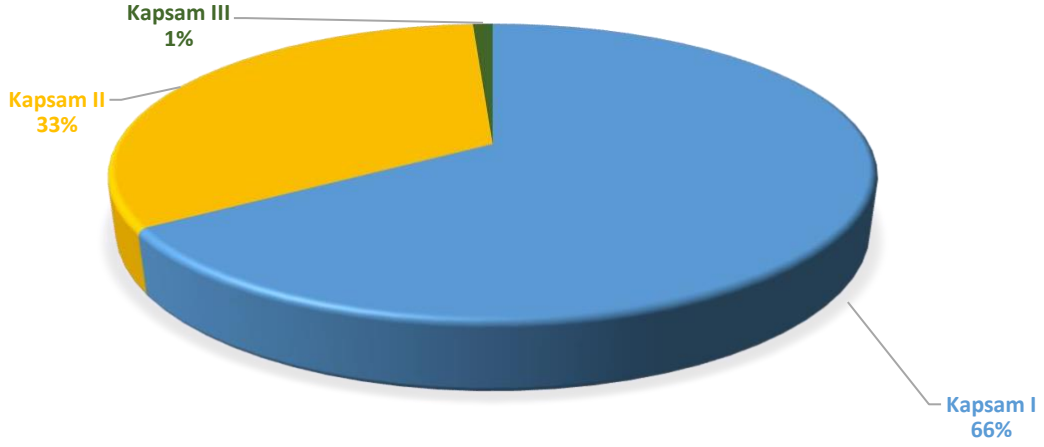
Tablo 6.6, atıklardan kaynaklanan emisyonları sunmaktadır. Kâğıt atıkları 385 tCO₂ eşd., organik atıklar ise 356 tCO₂ eşd. emisyon oluşturarak toplamda 741 tCO₂ eşd. emisyon üretmiştir.

Tablo 6. 7. Emisyon kaynakları ve yıllık miktarlar

Kapsam	Emisyon kaynağı	t CO ₂ eşd.
Kapsam I (Doğal gaz tüketimi)	Fırınlara, Sprey kurutucular, Presleme makineleri, Sır ve engob hazırlama, Ebatlama, Dijital baskı, Atık su arıtma	147.521
Kapsam II (Elektrik tüketimi)	Fırınlara, Sprey kurutucular, Sır ve engob hazırlama, Dijital baskı, Atık su arıtma	76.206
Kapsam III (Nakliye ve atık bertarafı)	Ham madde nakliye araçları	741
Toplam		224.468

Tablo 6.7’de emisyon kaynakları, kapsam adı altında gruplandırılmıştır. Kapsam I olarak adlandırdığımız doğrudan emisyon kaynağı doğal gaz, 147.521 tCO₂ eşd. ile başta

gelmektedir. Firmanın toplam emisyon değeri yaklaşık olarak 224.468 tCO₂ eşd. olarak hesaplanmıştır.



Grafik 6. 8. Sera gazının Kapsam I, II ve III olarak dağılımı

Grafik 6.8’de Kapsam I’den kaynaklı emisyon değerinin toplam emisyonun %66 ile en büyük oranı oluşturduğu sonucuna varılmıştır.

6.4 Su Tüketimi

Seramik üretim sürecinde su, sır, engob hazırlama ve çamur karışımı hazırlama süreçlerinde tüketilmektedir. Tablo 5.3’te fabrikanın 2023 yılı için toplam su tüketim verileri aylık olarak verilmektedir. En fazla su tüketiminin Kasım ayı üretiminde olduğu görülmektedir.

2023 yılı verilerine göre fabrika, toplamda yaklaşık olarak 286 ton su tüketmiştir ve aylık ortalama su tüketimi 23.829 ton olarak hesaplanmıştır. Bu miktar, seramik sektöründe su kullanım yoğunluğunun tipik bir göstergesidir. Tablo 6.5’te fabrikada yıllık kg bazında üniteleri için ortalama tüketilen su miktarı verilmiştir ve su kullanım alanları detaylandırılmıştır.

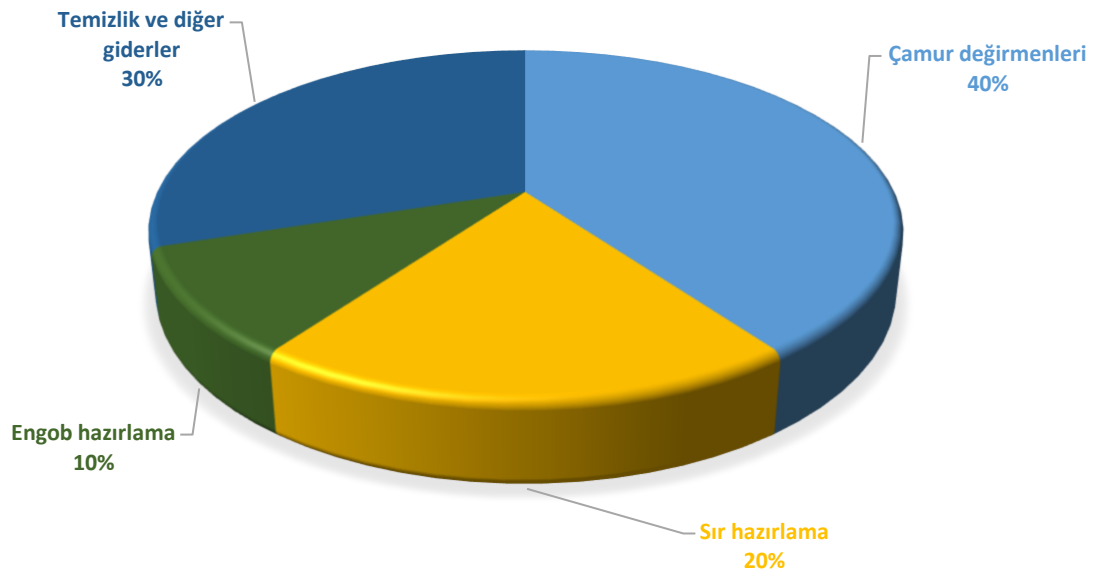
Seramik üretim sürecinde su hem ham madde olarak hem de temizlik ve diğer giderler için tüketilmektedir. En fazla su tüketiminin yılda 144.388 ton ile çamur değirmenlerinde olduğu görülmüştür.

Tablo 6. 5. Tüketilen ortalama su miktarları

Ünite	Kullanılan su miktarı (yıl/ton)
Çamur Değirmenleri	114.388
Engob	28.597
Sır	57.194
Temizlik diğer giderler	85.791
Toplam	285.970

Kaynak: (Bilecik ilinde seramik karo üretimi yapan bir fabrika)

Grafik 6.9’da su tüketiminin üretim sürecine ve diğer giderlere dağılımı gösterilmiştir. Su tüketiminin %10’unun engob, %20’sinin ise sır hazırlamada kullanıldığı görülmektedir. Temizlik ve diğer giderlerde, su tüketiminin %30’u, üretim ekipmanlarının temizlenmesi diğer giderler olarak düşünülmektedir. En önemli su gideri olan değirmenlerde çamur hazırlamada, su tüketim oranının yaklaşık %40’ının gerçekleştiği Grafik 6.9’da görülmektedir. Bu, çamurun homojenize edilmesi ve uygun reolojik özelliklere ulaşması için gereklidir.



Grafik 6. 9. Su tüketiminin üretim sürecine % dağılımı

6.5 Atık Yönetimi

Fabrika’nın ürettiği atıklar Tablo 5.9’a göre 7 yılda toplam 110 tondur. Firma Tablo 5.8’de dışarıdan yılda toplamda 728 ton diğer atık çeşitlerinden almaktadır. Simbiyoz döngüsüne giren toplam 838 ton/yıl atık karşımıza çıkmaktadır.

7. SONUÇLAR, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu bölümde, bir önceki bölümde yapılan hesaplamalar neticesinde tesise ait ham madde tüketimi, su tüketimi, enerji tüketimi, sera gazı emisyonlarının açığa çıkması ve atık oluşumu ile ilgili sonuçlara göre üretimin ana elemanları yorumlanmış, karşılaştırmalar yapılmış ve çalışma ile ilgili sonuçlar sunulmuştur, küresel boyutta uygulanan iyileştirme alternatifleri verilmiştir.

7.1 Sonuçlar

Tez çalışması kapsamında Bilecik ilinde faaliyet gösteren bir seramik fabrikası üzerinde yapılan değerlendirmeler sonucunda, ham madde ve enerji kullanımında çevresel etkilerin minimize edilmesi ve daha verimli kaynak kullanımına yönelik iyileştirme alanları tespit edilmiştir. Üretim süreçlerinde suyun kritik bir öneme sahip olduğu ve ham madde girdilerinin büyük bir kısmını oluşturduğu görülmüştür. Ayrıca, etkin bir ham madde yönetimiyle ürün verimliliğinin artırıldığı belirlenmiştir.

Enerji tüketiminde elektrik ve doğal gazın önemli bir paya sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu bağlamda, enerji kaynaklarının kullanımında sürdürülebilirliğin artırılmasına yönelik öneriler geliştirilmiştir. Ayrıca, su tüketimi ve atık yönetimi süreçlerinde geri dönüşüm uygulamalarının etkin şekilde uygulandığı gözlemlenmiştir.

Atık yönetimi stratejilerinde ise endüstriyel simbiyoz anlayışının benimsenerek, atıkların yeniden değerlendirilmesi ve çevresel etkilerin azaltılması hedeflenmiştir. Sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda, çevresel etkilerin daha da azaltılması ve kaynak verimliliğinin artırılmasına yönelik somut adımlar önerilmiştir.

Bu doğrultuda, sürdürülebilirlik hedefleri ile uyumlu olarak çevresel etkilerin minimize edilmesi ve daha verimli kaynak kullanımı sağlanması için sonuçlar aşağıda yorumlanıp tartışılmış ve iyileştirme önerileri sunulmuştur.

7.2 Tartışma

7.2.1 Ham Madde Tüketimi

Ham madde tüketim hesaplamaları incelendiğinde seramik sektöründe kullanılan çamur, engob ve sır karışımlarının ham madde yüzde grafikleri (Grafik 6.1, 6.2 ve 6.3) verilmiştir. Kullanılan ham madde oranlarının nedenselliğini yorumlamamıza katkı sağlamıştır. Bu

yüzdeler, her bir karışımın fonksiyonel gereksinimleri ve seramik ürünlerinin mekanik, optik ve estetik özelliklerini sağlamaya yönelik olarak belirlenmiştir. Grafik 6.1’de çamur bileşenleri içeriğine bakıldığında, su (71%), çamurun işlenebilirliğini sağlamak ve şekillendirme sürecinde esnekliği artırmak için yüksek oranda kullanılır. Su, çamur içindeki katı partiküllerin homojen bir karışım oluşturmasını sağlar. Kaolin, feldspat, kil çamurun plastisitesini sağlamak ve kuruma sırasında çatlamayı önlemek için kullanılır. Feldspat gibi alkali bileşenler ise pişirme sırasında eriyerek bağlayıcı bir faz oluşturur. Bu yüzden diğer ham maddelere göre yüksek oranlarda kullanılır. Diğer bileşenlerden olan dolomit, wollastonit, mermer tozu, kireç, elektrolit, alçı taşı çamurun fiziksel özelliklerini iyileştirir ve pişirme sırasında mineral faz oluşumuna katkı sağlar, bu bileşenler feldspat ile birlikte mekanik dayanımı ve termal stabiliteyi sağlar. Kireç ve alçı taşı çamurun sertliğini ve kimyasal stabilitesini artırmak için kullanılır. Ancak fazla miktarda kullanıldığında çatlama ve genleşme gibi problemler yaratabilir. Bu nedenle düşük oranlarda tercih edilmiştir. Fabrikanın mevcut üretim sürecindeki bu ham madde tüketimi, küresel doğal kaynakların hızla tükenmesine katkıda bulunmaktadır. Kil ve kaolin gibi ham maddelerin çıkarılması sırasında ortaya çıkan toprak bozulması, biyoçeşitlilik kaybı ve su kirliliği, yalnızca üretim alanlarını değil, bölgesel ekosistemleri de tehdit etmektedir.

Grafik 6.2’de engob hazırlama sürecinin ham madde yüzde dağılımlarına bakıldığında, su kullanımından sonra en çok kullanılan ham maddenin %15’lik oranla kaolin olduğu görülmüştür. Kaolinin bu oranda kullanılmasının amacı, engobun seramik yüzeyine tutunmasını artırması ve yüzeyin pürüzsüz bir doku kazanmasını sağlamaktır. Potasyum feldspat (12%), pişirme sırasında cam faz oluşumuna katkıda bulunarak engobun yüzeyde dayanıklı bir katman oluşturmasını sağlamaktadır. Kalsiyum karbonat (9%) ve zirkonyum silikat (6%), yüzeyde renk beyazlatıcı etkisi yaratmakta ve opaklık sağlamaktadır. Son olarak beyaz kil (4%), çinko oksit (2%), titanyum dioksit (3%), renk ve estetik özelliklerin düzenlenmesinde kullanılmıştır.

Ham madde girdisi bazında son olarak Grafik 6.3’e bakıldığında suyun %55 oranla sır karışımı hazırlanmasında da kritik bir rolü olduğu görülür. Potasyum feldspat (14%), cam faz oluşumuna katkı sağlayarak yüzeyin parlak ve dayanıklı olmasını sağlar, sırın alkali oksit ihtiyacını karşılar Kaolin (11%) ve kuvars (11%), sırın pişirme sırasında çatlama yapmaması için stabil bir yapı oluşturur. Zirkonyum silikat (5%) ve kalsiyum karbonat (4%), opaklık, yüzey beyazlatma ve dayanıklılığı artırır. Verilen tüm bu oranlar seramik karo üretiminde mekanik, estetik ve kimyasal özelliklerin optimum seviyede olması için firmada çalışan uzmanlar tarafından belirlenmiştir. Bu oranlar kapsamlı bir araştırma ve geliştirme çalışması sonucunda oluşturulmuştur.

Tablo 6.1 ve Tablo 6.2’de verilen seramik sektörüne ait kütle denkliği hesaplamaları, üretim süreçlerinin kaynak kullanımı ve çıktılar üzerindeki etkisini açık bir şekilde göstermektedir. Bu veriler, seramik üretiminin malzeme kullanım etkinliğini değerlendirmek için önemli bir temel sağlar.

Tablo 6.1 proses girdileri grafiğine bakıldığında kuru bisküvi ham maddesi yaklaşık 49 ton, kuru engob ham maddesi yaklaşık 43 ton ve kuru sır ham maddesi yaklaşık 23 ton gibi temel girdiler, üretimin farklı aşamalarında kullanılan malzemelerin miktarını belirtmektedir. Kuru bisküvi ham maddesi, üretim hacmi açısından en büyük katkıyı sağlar, bunun nedeni, bisküvi tabakalarının seramik üretiminin ana gövdesini oluşturmasıdır. Kuru engob ham maddesi, yüzey kaplamasında kullanılır ve bisküvi tabakalarını tamamlayan bir işlevi vardır. Kuru sır ham maddesi, seramik yüzeyine estetik ve dayanıklılık kazandırır. Ancak daha düşük miktarda kullanılması, sır uygulamasının genellikle yüzeye sınırlı bir işlem olmasından kaynaklanır. Su kullanımının yaklaşık 286 ton olması, toplam ham madde girişinin Grafik 6.4’e bakıldığında %70’inden fazlasını oluşturur. Elektrolit, çamurun akışkanlığını kontrol etmek için kullanılır. Düşük miktarda kullanılması, katkı maddesi olarak etkili olmasının bir sonucudur.

Tablo 6.2.’de proses çıktılarına bakıldığında üretilen karo yılda yaklaşık 110.814 ton olarak görülmektedir. Suyun neredeyse tamamı buharlaştığından, katı atık ve bünyeden atılan gazları sürece dahil ettiğimizde nihai ürün çıktısının %98’e ulaşması firmanın ham madde kullanımı ve süreç optimizasyonunun başarılı olduğunu göstermektedir.

Grafik 6.5’e bakıldığında suyun buharlaşması ve fırında pişme sırasında gazların bünyeden atılması seramik üretiminin mecburi aşamalarıdır. Atık su miktarı, toplam su girdisinin %1’dir. Bu, seramik sektörünün su geri dönüşümünde önemli bir yol katettiğini gösterir. Katı atıklar, üretim hatalarından, toz kayıplarından ve diğer üretim artıklarıyla ilişkilidir ama katı atık içeriğinde ki hatalı ürün ve ebatlama kayıpları yüzde olarak bilinmediğinden, atığın kuru madde kaybı olduğu kabul edilmiştir.

7.2.2 Enerji Tüketimi

Fabrikanın yıllık 114 GWh elektrik ve 2.594.860 GJ doğal gaz tüketimi, seramik sektörünün enerji yoğun yapısının somut bir örneğini oluşturmaktadır. Grafik 6.6 ve grafik 6.7’yi inceleyecek olursak fabrikanın elektrik tüketiminin %55’inin fırınlama süreçlerinde, %20’sinin ise sprey kurutucularda gerçekleşmesi aynı şekilde doğal gaz tüketiminde de

fırınlarda%73 ve sprej kurutucularda %23 oranında gerçekleşmesi, enerji verimliliğinin sağlanması gereken temel alanlar olarak öne çıkmaktadır.

Bu firmanın seramik üretim süreci farklı üretim yapan tesislerle kıyaslandığında avantajlı görünmektedir. Örneğın bir demir çelik fabrikası ortalama 10^6 - 12.10^6 GJ (İzmir Kalkınma Ajansı, 2021) doğal gaz tüketimi yaparken, seramik firmasının durumu oldukça ekonomik görünmektedir.

Firmayı (yıllık toplam 51.000.000 m² üretim) kendi sektörü ile kıyasladığımızda Türkiye’de seramik üretimi yapan A firması (yıllık toplam 40.000.000 m² üretim) m² başına 0.22 GJ doğal gaz tüketmekte, m² başına 7,5-8 kWh elektrik tüketmektedir. Türkiye’de seramik üretimi yapan üretim yapan başka bir B firması ise (yılıda toplam 66.000.000 m² üretim) m² başına 8-9 kWh elektrik, yine m² 0,24 GJ doğal gaz tüketmektedir. İncelediğimiz firma m² başına 6 kWh elektrik tüketmekte ve m² başına 0,21 GJ doğal gaz enerjisi tüketmektedir. İncelenen firma, A firmasına kıyasla daha fazla üretim gerçekleştirmesine rağmen, m² başına enerji tüketiminde daha düşük seviyelere ulaşarak enerji verimliliği konusunda üstün bir performans sergilemektedir. Firma B ile bu tez çalışmasında incelenen firmanın elektrik tüketimi hemen hemen aynı diyebilirken, doğal gaz tüketimi kıyaslandığında yine oldukça avantajlı görünmektedir.

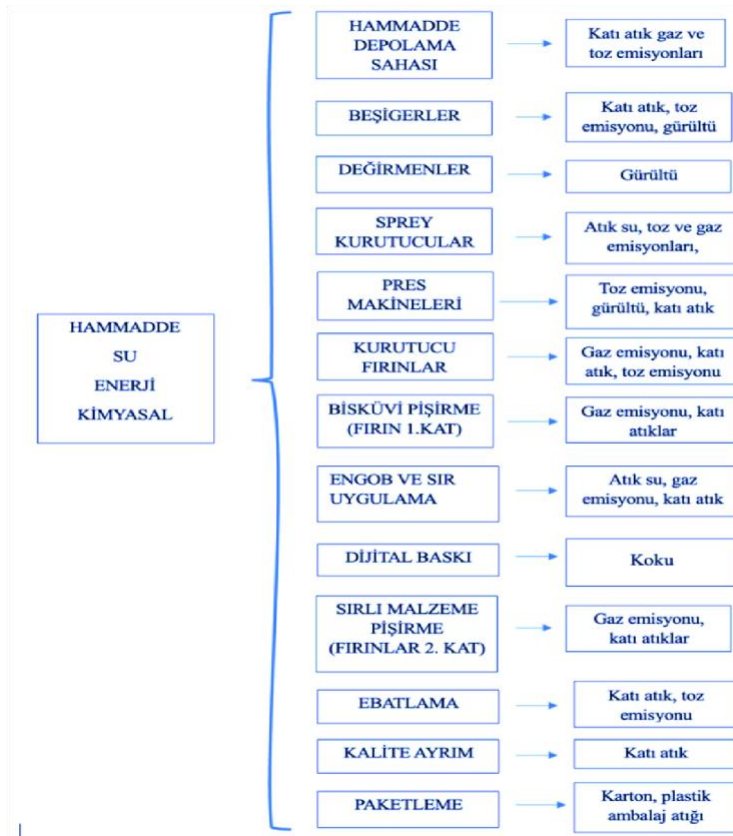
7.2.3 Sera Gazı Emisyonları

Fabrikanın sera gazı emisyonlarını kapsam grupları altında Tablo 6.7’de gösterilmiştir. En fazla emisyonun fırınlar ve sprej kurutuculardan kaynaklandığı görülmüştür. Fabrikanın toplam sera gazı emisyonu yaklaşık 224.468 ton CO₂ eşd. olarak hesaplanmıştır. Grafik 6.8’e bakıldığında en fazla sera gazı oluşumunun Kapsam I grubu altında %66 ile doğal gaz tüketimi olduğu görülmektedir. Diğer bir önemli sera gazı emisyonunun oluştuğu Kapsam II grubu altında elektrik tüketiminden kaynaklı %33 değeridir. Kalan %1 değeri ise Kapsam III grubu altında nakliye ve atıklardır. Şekil 7.1’de seramik üretimi boyunca, hangi departmanlarda emisyon ve kirleticilerin çıktığı şema olarak gösterilmiştir.

Fabrikanın sera gazı emisyonlarının %66 gibi büyük bir oranı, doğal gaz tüketiminden kaynaklanmaktadır. Bu durum, seramik sektörünün enerji yoğun bir endüstri olduğunu göstermektedir. Özellikle fırınlar ve sprej kurutucular gibi yüksek sıcaklık gerektiren prosesler, doğal gazın en çok kullanıldığı alanlardır. Bu bağlamda, doğal gaz tüketiminin bu kadar yüksek olması, seramik karo üretiminde termal işlemlerin ne kadar kritik olduğunu vurgulamaktadır. Örneğın, pişirme ve kurutma süreçleri enerji talebinin büyük kısmını oluşturur.

Sera gazı emisyonlarının %33'ü elektrik tüketiminden kaynaklanmaktadır. Elektrik tüketimi, fabrikanın destekleyici süreçleri (makine kullanımı, aydınlatma, taşıma sistemleri vb.) için gereklidir. Bu oranın yüksek olması, fabrikanın enerji yönetimi sistemini geliştirebileceğini göstermektedir.

Kapsam III emisyonlarının yalnızca %1 gibi düşük bir oranı, fabrikanın nakliye ve atık yönetimi süreçlerindeki başarısını işaret etmektedir. Bu oran, yerel kaynak kullanımının ve etkili atık yönetim sistemlerinin bir sonucu olabilir. Ham maddelerin fabrikaya olabildiğince yakın kaynaklardan temin edilmesi, nakliye süreçlerinden kaynaklanan emisyonların düşük olmasına önemli bir katkı sağlamıştır. Bu fabrikada sera gazı emisyonlarının %66'sının doğal gaz tüketiminden kaynaklandığı düşünüldüğünde, üretim süreçlerinin karbon nötr hale getirilmesi için ciddi bir dönüşüm gerekmektedir. Bunun yanında, elektriğin %33'lük payı, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını kritik bir çözüm olarak öne çıkarmaktadır. Başlık 7.3.3 altında sera gazı emisyonunu azaltmaya yönelik iyileştirmeler sunulmuştur.



Şekil 7. 1. Üretimin aşamalarında ortaya çıkan emisyon ve kirlenimler

7.2.4 Su Tüketimi

Tesisin yıllık yaklaşık olarak 286.000 ton su tüketimi, seramik üretim sektörünün su yoğunluğunu açıkça ortaya koymaktadır. Grafik 6.9 incelendiğinde su tüketiminin %40'ı değirmenlerde, %30'u engob ve sırlama işlemlerinde, kalan %30'u ise temizlik ve diğer süreçlerde gerçekleşmektedir. Tablo 6.2'ye bakıldığında atık su oranının %2 olduğu görülmektedir ve firma arıtılan suyun %100'ünü geri dönüştürüp üretime yeniden dahil etmektedir. Tüm tesislerde ve tüm üretim ürünlerinde, yaklaşık 25.000 ton su tekrardan arıtılmaktadır. Bilecik'te Seramik Karo üretimi yapan ve tez için ele alınan fabrika su kaynakları yönetimi konusunda kapalı döngü su sistemlerini benimsemiş olup örnek bir tutum sergilemektedir.

Fabrikanın mevcut su tüketimi, sınırlı kaynakların giderek azaldığı bir dünyada sürdürülebilir bir strateji izlediği görülmektedir. Yıllık yaklaşık 286.000 ton su tüketimi, firmanın çevresel ayak izini dengede tutmakta, aynı zamanda Türkiye'nin su kaynakları üzerindeki baskıyı da azaltmaktadır. Dünya genelinde bu tür yoğun su tüketen sektörlerin, kapalı döngü sistemlere, yağmur suyu hasadı uygulamalarına ve dijitalleşmeye geçiş yaparak su tüketimlerini minimize ettiği görülmektedir. Türkiye'deki bu fabrikanın, benzer teknolojilerden faydalanması hem çevresel hem de ekonomik sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşması için bir zorunluluktur.

7.2.5 Atık Yönetimi

Firma verilerine bakıldığında atık yönetiminin örnek bir tablo sergilediği görülmektedir. Tablo 5.9'da 2023 yılına bakıldığında toplamda 110 ton atık ürettiği Tablo 5.8'e göre 728 ton ahşap, demir çapağı ve talaş, karton ve kağıt ambalaj ve metal gibi atıkları tekrar üretime katmak için bünyesine aldığı görülmektedir. Bu atıklar ham madde katkısı, enerji kaynağı, taşıma ve depolama desteği ve geri dönüşüm malzemesi olarak kullanılabilir. Bu tutum endüstriyel simbiyoz için oldukça iyi bir örnektir. Ayrıca Tablo 6.2'de hesaplama sonuçları olan proses çıktılarında katı atık miktarına yaklaşık 5.749 ton/yıl olarak hesaplandığı görülmektedir. Su girdisinin ise atık olarak çıkan kısmı 5.720 ton/yıl olarak görülmektedir.

Dünya genelinde seramik sektörünün sıfır atık hedeflerine yöneldiği bir dönemde, Türkiye'de bu fabrikanın geri dönüşüm oranlarının kısmen düşük kalması, hemen hemen çevresel ve ekonomik bir eksiklik olarak değerlendirilebilmektedir.

Endüstriyel simbiyoz, atıkların farklı sektörlerde ham madde olarak yeniden kullanıldığı yenilikçi bir yaklaşımdır. İtalya'da endüstriyel simbiyoz projeleri kapsamında seramik

fabrikalarının atıklarının refrakter malzeme üretiminde kullanıldığı belirtilmiştir (Turkish Ceramics, 2022). Bu tür bir uygulama, fabrikaların atıklarını sifra yaklaştırırken, ekonomik değer yaratmalarını da sağlamaktadır. Türkiye’de de bu tür projelerin benimsenmeye başlanması, atık yönetiminde önemli bir adıma işaret etmektedir.

Türkiye’deki bu fabrikanın, dijital teknolojiler ve otomasyon sistemlerine yatırım yapması, atık yönetiminde modern yaklaşımlar sergileme çabasını göstermektedir. Fabrika, ham madde karışımları, pres makineleri, kurutucu ve pişirme fırınları, ebatlama makineleri, kalite kontrol ve paketleme sistemleri dijital bir şekilde takip etmekte ve verileri kayıt altına almaktadır. Böylelikle sorunlar hızlı tespit edilmekte ve kolayca çözülmektedir.

Sonuç olarak, firma üretimde atık yönetimi konusunda paralel bir yolda ilerlemesi durumunda, aşağıda bölüm 7.3’te iyileştirme önerileri üretim sürecine entegre ederek çevresel etkileri azaltacak, maliyet açısından tasarruf edecek, çalışanlar için daha kaliteli ve güvenli bir çalışma ortamı sağlayacak ve iyi bir rekabet ortamı yaratacaktır.

7.3 Sürdürülebilir Üretim İçin İyileştirme Önerileri

Seramik sektöründe çevresel sürdürülebilirliği artırmak için uygulanabilecek iyileştirme yöntemleri, üretim süreçlerinde su ve enerji tüketiminin azaltılmasından sera gazı emisyonlarının kontrolüne kadar geniş bir yelpazeyi kapsamaktadır. Bu iyileştirme yöntemleri, yalnızca çevresel etkileri azaltmakla kalmayıp, aynı zamanda ekonomik faydalar sağlamayı da hedeflemektedir.

Çalışmanın bu bölümünde bir önceki bölümde açıklanan tüketim bilgileri sonucunda ham madde, su ve enerji tüketimi yönetimine ait fabrikaya hangi sürdürülebilir üretim çözümlerinin entegre edilebileceği önerilmiştir. Ayrıca sera gazı emisyon azaltımına dair iyileştirici çözümler sunulmuştur. Atık yönetimini daha etkin hale getirmek için neler yapılabileceği konularına değinilmiştir.

7.3.1 Ham Madde Tüketimine Dair İyileştirmeler

Seramik üretimi ham madde yoğun bir prosestir. Fabrikada kullanılan ham maddelerin büyük kısmı doğal kaynaklardan sağlanmaktadır. Ancak bu ham maddelerin çıkarılması sırasında çevresel etkiler (erozyon, habitat kaybı) oluşmaktadır. Doğal kaynaklara olan bağımlılığı azaltmak için endüstriyel atıklar ve alternatif malzemeler kullanılarak üretim süreçleri optimize edilebilir. Şu iyileştirme yöntemleri kullanılabilir;

Seramik karonun inceltilmesi: Birim ürün başına kullanılan ham madde miktarını düşürmek için kullanılır. Daha az ham madde kullanılmasıyla malzeme kaybı minimize edilir, daha kısa sürede pişirim sağlandığından fırınlama sırasında enerjiden tasarruf edilir.

Sert ham maddelerin ayrı ayrı öğütülmesi: Seramik üretiminde, geleneksel olarak karışım halinde öğütülen sert ham maddelerin (örneğin albit ve kuvars kumu) ayrı ayrı öğütülmesi, enerji tüketimini azaltan ve üretim sürecini daha verimli hale getiren bir yöntemdir. Yapılan bir çalışmada, bu yöntemle %27 daha az enerji tüketildiği tespit edilmiştir. Ayrıca, tane boyutunun kontrol edilebilirliği sayesinde sinterleme ve mukavemet süreçlerinde daha iyi sonuçlar elde edilmiştir (Kara & Çuhadaroğlu, 2022).

Alternatif ham maddelerin kullanımı: Doğal kaynak tüketimini azaltmak amacıyla feldspat, kalsit ve kuvars gibi ham maddelerin yerine alternatif ham maddelerin kullanımı teşvik edilmektedir. Serçeören (Balıkesir) bölgesinden elde edilen kalsiyum meta silikat (wollastonit), seramik bünyelerde hem maliyet avantajı sağlamakta hem de çevresel etkileri azaltmaktadır. Wollastonit kullanımı, ürün mukavemetini artırmakta ve üretim süreçlerindeki verimliliği geliştirmektedir (Haner & Haner, 2013).

Atık malzemelerin geri dönüşümü: Üretim sırasında ortaya çıkan atık seramik malzemelerin geri dönüştürülerek yeniden üretim sürecine dahil edilmesi, ham madde ihtiyacını önemli ölçüde azaltabilir. Bu yöntem, özellikle döngüsel ekonomi prensiplerine uyum sağlama ve çevresel sürdürülebilirliği artırma açısından kritik bir öneme sahiptir (ETKB, 2018).

Dijital ve teknolojik iyileştirmeler: Dijitalleşme ve otomasyon teknolojilerinin üretim süreçlerine entegrasyonu, dekoratif malzeme kullanımını azaltarak ham madde tüketiminde tasarruf sağlamaktadır. Ayrıca, daha ince ve hafif seramik ürünlerin tasarlanması, birim ürün başına kullanılan ham madde miktarını düşürmekte ve enerji verimliliğini artırmaktadır (Turkish Ceramics, 2022).

Ham madde tüketimini azaltmaya yönelik bu iyileştirme yöntemleri, seramik sektörünün doğal kaynak tüketimini optimize etmesini ve çevresel etkilerini minimuma indirmesini sağlamaktadır. Geri dönüştürülmüş malzemelerin kullanımı, dijital optimizasyon teknolojileri ve alternatif ham madde çözümleri hem ekonomik hem de ekolojik sürdürülebilirlik açısından büyük faydalar sunmaktadır.

7.3.2 Enerji Tüketimi İçin İyileştirmeler

Seramik sektöründe enerji tüketimi, üretim süreçlerinin en maliyetli ve çevresel açıdan en etkili unsurlarından biridir. Enerji verimliliğini artırmak ve yenilenebilir enerji kaynaklarını

entegre etmek hem çevresel hem de ekonomik sürdürülebilirlik açısından büyük faydalar sağlamaktadır. Aşağıda seramik üretim tesisinde enerji iyileştirmeleri için şu yöntemler uygulanabilir;

Atık ısı geri kazanım: Seramik fırınlarından çıkan atık baca gazları, enerji geri kazanımı için büyük bir potansiyele sahiptir. Bu ısı, sıcak su üretimi veya diğer proseslerde ön ısıtma amacıyla kullanılabilir. Örneğin, bir çalışmada, bir seramik fırınına ekonomizer sistemi entegre edilerek atık ısı geri kazanımı sağlanmış ve enerji tasarrufu önemli ölçüde artırılmıştır. Bu yöntem hem enerji tüketimini azaltmakta hem de karbon emisyonlarını düşürerek çevresel etkileri en aza indirmektedir (Madan, 2014).

Püskürtmeli kurutucularda ısı geri kazanımı: Seramik üretiminde kullanılan püskürtmeli kurutucularda atık ısının geri kazanılması, doğal gaz tüketimini %29 oranında azaltmıştır. Bu sistemle, atık ısı geri kazanılarak kurutma işlemi için gereken enerji miktarı düşürülmüş ve enerji verimliliği artırılmıştır. Ayrıca, bu tür uygulamalar karbon emisyonlarını da azaltmaktadır (Çağlayan, 2015) .

Otomasyon ve Enerji Verimli Ekipman Kullanımı: Fırınlarda ve diğer ekipmanlarda otomasyon sistemlerinin kullanımı, enerji tüketimini optimize etmeye yardımcı olabilir. Örneğin, değişken frekanslı sürücüler kullanılarak fan hızlarının kontrol edilmesi, gereksiz enerji tüketimini önlemektedir. Aynı şekilde, yüksek verimli motorların kullanımıyla enerji tasarrufu sağlanabilir (Kanoğlu, 2010) .

Alternatif yakıtların kullanımı: Seramik sektöründe, doğal gaz gibi fosil yakıtlar yerine biyokütle veya diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, enerji maliyetlerini düşürmekte ve çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlamaktadır. Özellikle mikrodalga destekli gazlı pişirme gibi yenilikçi teknolojiler, enerji verimliliğini artıran etkili (ETKB, 2018) .Bu iyileştirmelerle beraber, enerji tüketimi azaltılarak maliyet tasarrufu sağlanır, sera gazı emisyonları azalır, Enerji yönetim sistemi ISO 50001 ile uyum sağlanır.

7.3.3 Sera Gazı Emisyonunu Azaltmaya Yönelik İyileştirmeler

Seramik sektöründe karbon ve diğer sera gazı emisyonlarının azaltılması, iklim değişikliğiyle mücadelede önemli bir rol oynamaktadır. Bu emisyonları kontrol altına almak şu yöntemler uygulanabilir;

Enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji kullanımı: Seramik sektöründe enerji yoğun süreçlerin daha verimli hale getirilmesi, sera gazı emisyonlarının azaltılması için kritik bir

adıdır. Fırınlarda atık ısının geri kazanılması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının, özellikle biyokütle ve güneş enerjisinin üretim süreçlerine entegrasyonu, karbon ayak izini düşürmektedir (BCF, 2017).

İnovasyon ve teknoloji geliştirme: Sektörde karbon azaltıcı yeni teknolojilerin geliştirilmesi ve uygulanması, uzun vadede sera gazı emisyonlarını önemli ölçüde azaltabilir. Örneğin, elektrikli pişirme yöntemlerinin yaygınlaştırılması ve hidrojen gibi düşük karbonlu yakıtların kullanımı önemli çözümler arasında yer almaktadır. Ayrıca, karbon yakalama ve depolama (CCS) teknolojilerinin seramik sektörüne uyarlanması büyük faydalar sağlayabilir (BCF, 2017).

Döngüsel ekonomi prensiplerinin benimsenmesi: Atık malzemelerin geri dönüşümünün artırılması hem ham madde tüketimini azaltmakta hem de karbon emisyonlarını düşürmektedir. Seramik sektöründe üretim sırasında ortaya çıkan atıkların yeniden kullanılması, döngüsel ekonomi prensiplerine uygun bir üretim modeli sunmaktadır (Çabuk & Çabuk, 2013).

Dijitalleşme ile sürdürülebilirlik: Dijital dönüşüm, üretim süreçlerini daha verimli hale getirerek enerji tüketimini azaltabilir ve sera gazı emisyonlarını düşürebilir. Sensörler ve IoT (Nesnelerin İnterneti) teknolojileri, üretim hatlarındaki enerji kullanımını optimize ederek çevresel etkilerin azaltılmasını destekler. Ayrıca, dijitalleşme yoluyla çevresel verilerin daha etkin yönetimi sağlanabilir (Meydanoglu & Hurmaci, 2023).

Uluslararası iş birliği ve politika uyumu: Seramik sektöründe düşük karbonlu çözümlerin benimsenmesi için uluslararası standartlar ve politikaların uyumlaştırılması büyük önem taşımaktadır. Avrupa Birliği'nin karbon nötr hedefleri doğrultusunda sektörde uygulanabilir teşvikler ve düzenlemeler geliştirilmelidir (BCF, 2017).

7.3.4 Atık Oluşumunu Azaltmaya Yönelik İyileştirmeler

Avrupa ülkeleri atıkların %60'ını geri dönüşüm veya endüstriyel simbiyoz süreçlerine dahil etmektedir (Turkish Ceramics, 2022).

Endüstriyel simbiyoz, atıkların farklı sektörlerde ham madde olarak yeniden kullanıldığı yenilikçi bir yaklaşımdır. İtalya'da endüstriyel simbiyoz projeleri kapsamında seramik fabrikalarının atıklarının refrakter malzeme üretiminde kullanıldığı belirtilmiştir (Turkish Ceramics, 2022). Bu tür bir uygulama, fabrikaların atıklarını sifra yaklaştırırken, ekonomik

değer yaratmalarını da sağlamaktadır. İncelediğimiz fabrika bu tutumu benimsemektedir. Atık oluşumunu azaltmak için alternatif iyileştirmeler aşağıda listelenmiştir;

Atık yönetim sistemi kurulumu ve geliştirilmesi için: Atık türlerinin belirlenmesi ve sınıflandırılması, üretim süreçlerinde oluşan atıkları türlerine göre (örneğin, ahşap, metal, seramik, tehlikeli atıklar) sınıflandırarak, her bir atık türü için uygun geri dönüşüm veya bertaraf yöntemleri belirlenebilir.

Üretim süreçlerinin gözden geçirilmesi: Atık oluşumunu en aza indirecek yöntemler geliştirilebilir. Örneğin, üretim sırasında oluşan seramik atıklarının geri dönüşümü mümkündür ve bu atıklar üretimde yeniden kullanılabilir (Poyraz & Yılmaz, 2018).

Geri dönüşüm ve yeniden kullanım uygulamaları: Seramik üretiminde oluşan pişmiş atıkların geri dönüşümü, sürdürülebilir üretim açısından önemlidir. Bu atıkların öğütülerek yeniden üretimde kullanılması, ham madde kullanımını azaltır ve çevresel etkileri minimize eder (Poyraz & Yılmaz, 2018). Ahşap ve metal atıklarının geri dönüşümü, ahşap ambalaj malzemeleri ve metal atıklar, uygun geri dönüşüm yöntemleriyle yeniden değerlendirilebilir. Bu atıkların geri dönüşümü, doğal kaynakların korunmasına katkı sağlar ve atık miktarını azaltır.

Atık yönetimi eğitim ve farkındalık programları: Çalışanlara atık yönetimi, geri dönüşüm ve sürdürülebilirlik konularında düzenli eğitimler verilerek, atık azaltma ve geri dönüşüm süreçlerine aktif katılımları sağlanabilir. Fabrika genelinde atık yönetimi ve geri dönüşümün önemini vurgulayan kampanyalar düzenlenerek, tüm personelin bu konudaki bilinç düzeyi arttırılabilir. Üretim süreçlerinde oluşan atıkları yerinde işleyebilecek geri dönüşüm tesisleri veya ekipmanlarına yatırım yapılarak, atıkların yeniden kullanımını kolaylaştırılabilir. Örneğin, Türkiye'deki lider seramik üreticilerinden biri, MEKA ile iş birliği yaparak seramik ve vitrifiye ürünlerin geri dönüştürülmesi için özel bir tesis kurmuştur (MEKA, 2023).

Bu iyileştirme yöntemleri, seramik sektörünün sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmasında kritik bir rol oynamaktadır. Su ve enerji tüketiminin azaltılmasından sera gazı emisyonlarının kontrolüne ve atık yönetimine kadar geniş bir yelpazede uygulanabilecek bu yöntemler, sektörel dönüşüm için güçlü bir temel oluşturur. Gelecekte bu uygulamaların daha yaygın hale getirilmesi, seramik sektörünün çevresel etkilerini minimuma indirirken ekonomik performansını da arttıracaktır. Ayrıca sürdürülebilir üretim süreçlerinin benimsenmesi çevresel bilincin gelişmesine katkı sağlayarak sektörün toplum nezdindeki itibarını olumlu yönde

etkileyecektir ve küresel anlamda rekabet gücünü de artıracaktır. Bu bağlamda yukarıda verilen tüm bu iyileştirme önerileri geçiştirilemeyecek derecede önem taşımaktadır.

7.3.5 Su Tüketimine Dair İyileştirmeler

Seramik üretimi, yoğun su tüketimi gerektirir. Özellikle çamur hazırlama ve yüzey sırlama süreçlerinde su tüketimi dikkat çekicidir. Aşağıda, su kullanımını iyileştirme yöntemlerine dair öneriler detaylı olarak ele alınmaktadır;

Su geri kazanım oranını artırmak: Seramik üretim süreçlerinde su tüketiminin büyük bir kısmı şekillendirme, kurutma ve sır kaplama gibi işlemlerde kullanılmaktadır. Bu süreçlerden kaynaklanan atık suların arıtılarak geri kazanılması, su tüketimini azaltmak için etkili bir stratejidir. Arıtma tesislerinde kullanılan membran teknolojileri ve ters ozmoz sistemleri sayesinde atık suyun %90'a kadar geri kazanılması mümkündür (Dalsaniya & Bhatt, 2024).

Su ayak izi yönetimi: Üretim süreçlerinde su ayak izi analizi yapılarak her aşamada kullanılan su miktarı ve suyun kaynağı belirlenebilir. Örneğin, Morbi bölgesindeki seramik fabrikalarında su ayak izi çalışmaları ile su tüketiminin %15 oranında azaltıldığı rapor edilmiştir. Bu yöntem, suyun sürdürülebilir bir şekilde kullanılmasını sağlar ve üretim maliyetlerini düşürür (Kırıtorun & Karaer, 2018).

Modern teknolojilerin entegrasyonu: Seramik sektörü için özel olarak geliştirilen dijital su izleme sistemleri, su tüketiminin sürekli kontrol edilmesini sağlar. Bu sistemler, suyun yalnızca gerektiği zaman ve miktarda kullanılmasını sağlayarak israfı önler. Ayrıca, düşük su tüketimli sır kaplama tekniklerinin uygulanması da önemli bir iyileştirme yöntemidir (Arapoğlu, 2023).

Sürdürülebilir ham maddeler kullanımı: Sulu karışımlar yerine kuru karışımlarla üretim yapılması, su tüketimini azaltmak için bir başka etkili yöntemdir. Örneğin, kuru presleme teknolojisiyle ham madde işleme süreçlerinde kullanılan su miktarı %50'ye kadar azaltılabilir. Ayrıca, bu yöntem enerji verimliliğini de artırmaktadır (Dalsaniya & Bhatt, 2024:315).

Çevre dostu ürün tasarımı: Ürün tasarımı sırasında suyun daha az kullanıldığı ve çevre dostu özelliklere sahip ürünler geliştirilmesi hem üretim sırasında hem de kullanım ömrü

boyunca su tasarrufu sağlar. Örneğin, daha az sır ve yüzey işleme hem su hem de enerji tüketimini azaltır (Arapoğlu, 2023).

Çapraz proses kullanımı: Farklı üretim hatlarından gelen atık suların diğer hatlarda yeniden kullanılması, çapraz proses su yönetimi olarak adlandırılmaktadır. Bu yöntem, bir hattaki atık suyun, başka bir hattın temizleme veya soğutma gibi işlemlerinde kullanılmasına olanak tanır. Bu yöntemle, toplam su tüketiminde %10 ila %30 oranında azalma sağlanabilir (Kırtorun & Karaer, 2018).

Eğitim ve farkındalık artırma programları: Tesis çalışanlarına yönelik düzenli eğitimler, su tasarrufu bilincini artırabilir. Çalışanların su yönetimi konusundaki farkındalığı, bireysel ve kurumsal düzeyde daha verimli su kullanımı sağlayabilir. Bu programlar, su israfının önlenmesine ve işletme maliyetlerinin düşürülmesine katkıda bulunur (T.C Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2023).

Yağmur suyu toplama ve depolama: Yağmur suyu toplama ve depolama sistemleri, seramik sektöründe su tüketimini azaltmak ve sürdürülebilirliği artırmak için etkili bir yöntemdir. Bu sistemler, çatı yüzeylerinden, açık alanlardan ve diğer su toplayıcı bölgelerden yağmur suyunu toplayarak depolar. Toplanan yağmur suyu, üretim süreçlerinde kullanılabilir ve tatlı su tüketimini önemli ölçüde azaltır. Yağmur suyu, arıtılarak temizlik, soğutma ve sır hazırlama gibi süreçlerde kullanılabilir (Kırtorun & Karaer, 2018).

Gri su sistemleri: Gri su, genellikle lavabolar, duşlar ve temizlik işlemleri gibi kaynaklardan gelen hafif kirli sudur. Gri suyun arıtılarak yeniden kullanılması, seramik sektöründe su tüketimini önemli ölçüde azaltan bir yöntemdir. Bu sistemler sayesinde üretim süreçlerinde kullanılan suyun büyük bir kısmı geri kazanılabilir. Gri su, özellikle soğutma, sır hazırlama ve temizlik gibi işlemlerde kullanılabilir (Arapoğlu, 2023).

Bu iyileştirmelerle birlikte gereksiz su tüketimleri tespit edilebilir, daha az enerji tüketimi sağlanır, atık su bertaraf maliyetleri minimize edilir.

7.4 Dünya’da İyi Uygulama Örnekleri

Küresel ölçekte artan çevre sorunları ve doğal kaynakların tükenme riski, sürdürülebilirlik kavramını her sektörde olduğu gibi seramik sektöründe de öncelikli bir gündem haline getirmiştir. Sanayi faaliyetlerinden kaynaklanan karbon emisyonları, enerji tüketimi ve kaynak kullanımı, çevresel sürdürülebilirlik hedeflerinin temel odak noktaları

arasında yer almaktadır. Bu bağlamda, seramik sektöründe sürdürülebilirlik uygulamaları küresel düzeyde giderek önem kazanmıştır.

Hindistan'ın Morbi bölgesi, seramik üretiminde sürdürülebilir su yönetimi ile ön plana çıkmaktadır. Bölgede yer alan fabrikalar, yağmur suyu toplama sistemlerini yaygınlaştırmış ve gri suyun geri kazanımıyla su tüketiminde %20'ye varan tasarruf sağlamıştır. Ayrıca, su ayak izi analizleri ile üretim süreçlerinde su tüketimi optimize edilmiş ve verimlilik artırılmıştır. Bu uygulamalar, Hindistan gibi su kaynaklarının sınırlı olduğu bölgelerde sürdürülebilirlik için örnek teşkil etmektedir (Dalsaniya & Bhatt, 2024).

Japonya, seramik sektöründe döngüsel ekonomi prensiplerini uygulamaya koymuştur. Üretim sırasında ortaya çıkan seramik atıkları, geri dönüştürülerek yeni ürünlerin ham maddesi olarak kullanılmaktadır. Bu uygulama hem doğal kaynak tüketimini azaltmış hem de atık miktarını %50 oranında düşürmüştür. Ayrıca, Japonya'da ileri düzey atık su arıtma teknolojileri kullanılarak üretim süreçlerinde kullanılan suyun %90'ı geri kazanılmaktadır. Bu yöntemler, Japonya'yı sürdürülebilir seramik üretiminde öncü yapmaktadır (Kırtorun & Karaer, 2018).

ABD'de seramik sektörü, yenilenebilir enerji kaynaklarını üretim süreçlerine entegre etmektedir. Güneş enerjisi ve biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımıyla karbon emisyonları önemli ölçüde azaltılmıştır. Yenilenebilir enerji kullanımını teşvik eden politikalar ve finansal destek mekanizmaları, sektörün sürdürülebilirliğini artırmıştır. ABD, yenilenebilir enerji entegrasyonu konusunda örnek teşkil eden ülkeler arasındadır (BCF, 2017).

Güney Kore, seramik sektöründe gri su arıtma sistemlerini yaygınlaştırarak su tüketiminde %30'a kadar tasarruf sağlamıştır. Bu sistemler hem su tüketimini azaltmakta hem de atık suların geri kazanılmasını sağlamaktadır. Su yönetimi konusundaki bu uygulamalar, kaynakların daha sürdürülebilir kullanımını mümkün (Dalsaniya & Bhatt, 2024).

Avustralya, seramik üretiminde geri dönüştürülmüş malzemelerin kullanımını teşvik etmektedir. Atık cam ve seramikler, yeni ürünlerde ham madde olarak kullanılmakta ve böylece doğal kaynak tüketimi azaltılmaktadır. Döngüsel ekonomi anlayışı, sektörde sürdürülebilir üretimi güçlendirmiştir (Arapoğlu, 2023).

İngiltere, seramik üretiminde düşük karbonlu yakıtların ve yenilikçi teknolojilerin kullanımını teşvik etmektedir. Atık cam ve seramiklerin geri dönüştürülerek kullanılmasıyla doğal kaynak tüketimi azaltılmıştır. Ayrıca, karbon emisyonlarını azaltmaya yönelik politikalar geliştirilmiş ve uygulanmıştır (BCF, 2017).

Avrupa’da seramik sektöründe sürdürülebilirlik çalışmaları, çevresel etkilerin azaltılması ve kaynak verimliliğinin artırılması amacıyla 1980’li yıllardan itibaren çevre bilincinin artmasıyla başlamıştır. İlk yıllarda enerji verimliliği ve atık yönetimi konularına odaklanılırken, 1990’lı yıllarda su tüketiminin azaltılması ve geri dönüşüm uygulamaları gündeme gelmiştir. 2000’li yıllarda ise Avrupa Birliği’nin çevre politikaları ve düzenlemeleri doğrultusunda daha sürdürülebilir üretim yöntemleri benimsenmiştir. Özellikle 2019 yılında açıklanan Avrupa Yeşil Mutabakatı ile bu çalışmalar ivme kazanmıştır. Mutabakat, 2030 yılına kadar sera gazı emisyonlarını en az %55 oranında azaltmayı ve 2050 yılına kadar Avrupa’yı dünyanın ilk iklim-nötr kıtası yapmayı hedeflemektedir (Avrupa Komisyonu, 2019).

İtalya, seramik sektöründe sürdürülebilirlik konusunda dünya lideridir. Ülkede faaliyet gösteren seramik fabrikalarının %97’si sıfır proses suyu deşarjı yapmaktadır. Bu uygulama, atık suların arıtılarak üretimde yeniden kullanılmasını sağlamaktadır. Ayrıca İtalya, dijital baskı teknolojilerinin yaygın kullanımını teşvik ederek enerji tüketimini %20 oranında azaltmış, ham madde israfını önlemiştir. Atık ısı geri kazanım sistemleriyle enerji verimliliği artırılmış, bu uygulamalar sektörün karbon ayak izini önemli ölçüde azaltmıştır (BCF, 2017).

Ayrıca yine İtalya merkezli bir seramik üreticisi firmasının “Glass Plus” Projesi, 2010 yılında başlattığı projeye, kullanılmayan eski televizyonların cam katot ışın tüplerini geri dönüştürerek seramik kaplama malzemeleri üretiminde kullanmaktadır. Bu sayede ham madde maliyetleri ve depolama alanları konusunda tasarruf sağlanmaktadır (Poyraz & Yılmaz, 2018).

İspanya, seramik üretiminde dijitalleşme ve enerji verimliliği teknolojilerini benimseyerek dikkat çekmektedir. Dijital baskı teknolojisi, sır kaplama işlemlerinde kullanılan enerji ve su tüketimini %30 oranında azaltmıştır. Akıllı üretim sistemleri, enerji ve su tüketimini optimize ederek karbon emisyonlarını düşürmüş ve maliyetleri azaltmıştır. Ayrıca, üretim süreçlerinin izlenmesi ve optimize edilmesi sayesinde kaynakların daha verimli kullanılması sağlanmıştır (Arapoğlu, 2023).

Almanya, seramik sektöründe CCS teknolojilerini uygulamaktadır. CCS, seramik üretiminden kaynaklanan karbondioksitin atmosfere salınmasını önleyerek depolanmasını sağlar. Almanya ayrıca düşük karbonlu yakıtlar ve hidrojen teknolojilerini fırın sistemlerine entegre ederek karbon emisyonlarında %40’a varan azalma sağlamıştır. Enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik politikalarıyla Almanya, sektöre yön veren ülkelerden biridir (BCF, 2017).

Bir Hollandalı seramik üreticisi Cradle to Cradle (C2C) yani beşikten beşiğe Sertifikalı ürünleri, ürünlerinin çevresel etkilerini minimize etmek için %10-%40 geri dönüşümlü ürünler kullanarak ve üretimde enerji ve suyu geliştirerek üretmiştir. Bu sertifika, ürünlerin yaşam döngüsü boyunca çevreye zarar vermeden üretildiğini ve geri dönüştürülebilir olduğunu göstermektedir (Poyraz & Yılmaz, 2018).

Avrupa'da seramik sektöründe sürdürülebilirlik alanında gerçekleştirilen ve daha az bilinen bazı iyi uygulama örnekleri şunlardır;

FISSAC Projesi (Fostering Industrial Symbiosis for a Sustainable Resource Intensive Industry Across The Extended Construction Value Chain, Sürdürülebilir Kaynak Yoğun Endüstriler için Genişletilmiş, Yapı Değer Zinciri Üzerinden Endüstriyel Simbiyozun Teşvik Edilmesi). Türkiye'nin de aralarında bulunduğu dokuz ülkeden ve yirmi altı ortaktan oluşan bir konsorsiyum tarafından yürütülen bu proje, sektörler arası sanayi atıklarının veya yan ürünlerin yapı malzemeleri üretiminde kullanılmasını hedeflemektedir. Bu sayede, atıkların azaltılması ve kaynak verimliliğinin artırılması amaçlanmaktadır (FISSAC, 2020).

Imerys'in Atık Azaltma ve Geri Dönüşüm Stratejisi, Imerys, seramik üretim süreçlerinde oluşan atıkları minimize etmek ve geri dönüşüm oranlarını artırmak için çeşitli stratejiler uygulamaktadır. 2022 yılında, iki fabrikasında üretilen çöp sahası atık miktarını yaklaşık %98,2 oranında azaltmış ve geri dönüşüm oranını %98'e çıkarmıştır (IMERYS, 2023).

LIXIL'in Kurumsal Sorumluluk Raporu: LIXIL, seramik sağlık gereçleri üretiminde su ve enerji verimliliğini artırmak için yenilikçi teknolojiler geliştirmektedir. 2022 Kurumsal Sorumluluk Raporu'nda, su tüketimini azaltan ürün tasarımları ve üretim süreçlerinde enerji verimliliğini artıran uygulamalar hakkında bilgiler sunulmuştur (LIXIL, 2022).

Bu örneklerin tümü, Dünya genelinde ve Avrupa'da seramik sektöründe sürdürülebilirlik alanında gerçekleştirilen ve başarılı uygulamaları göstermektedir. Sektör, çevresel etkilerini azaltmak ve daha sürdürülebilir üretim yöntemleri benimsemek için çalışmalarına devam etmektedir.

KAYNAKÇA

- Arapoğlu, İ.** (2023). Seramik Ürün Tasarımında Çevreci Çözümler ve Uygulama Örneği. *Bodrum Sanat ve Tasarım Dergisi, 1*.
- ASCER.** (2023). *Presents its balance sheet and the latest tile of spain trends to the international press.*(Kurumsal Rapor). ASCER. <https://portal.ascer.es/wp-content/uploads/2024/04/Results-2023.pdf>
- Avrupa Komisyonu.** (2019). *Avrupa Yeşil Mutabakatı.* Commission. https://europa.eu/strategyand-policy/priorities-2019-2024/story-von-der-leyen-commission/european-greendeal_en
- Ayna, O. M.** (2012). *Hidrojenle Zenginleştirilmiş Yakma Sistemleri ve Seramik Sektörü Uygulaması.* (Yüksek Lisans Tezi). Uşak Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Ana Bilim Dalı, Uşak.
- BCF.** (2017). *Ceramic Sector, Joint Industry-Government, Industrial Decarbonisation and Energy Efficiency Roadmap Action Plan.* (Kurumsal Rapor). British Ceramic Federation. <https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5a81fedbe5274a2e87dc0981/ceramics-decarbonisation-action-plan.pdf>
- Çabuk, Ö., & Çabuk, S. N.** (2013). Sera Gazı Emisyonlarının Azaltımı Amacıyla Kullanılan İktisadi Araçlar ve İngiltere örneği. 5. *Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu*, 18-20 Eylül, Eskişehir, Türkiye. DOI:10.13140/2.1.3092.5125
- Çağlayan, H.** (2015). *Seramik Sektöründe Isı Geri Kazanımlı Bir Püskürtmeli Kurutucunun Enerji ve Ekserji Analizi.* (Yüksek Lisans Tezi). Uşak Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Uşak.
- Carty, W. M., & Senapati, U.** (1998). Porcelain – Raw materials, processing, phase evolution, and mechanical behavior. *Journal of the American Ceramic Society, 81*(1), 3–20. New York State College of Ceramics at Alfred University, Alfred, New York, America. DOI: 10.1111/j.1151-2916.1998.tb02290.x
- Çimento Cam Seramik İhracatçıları Birliği.** (2020). *Seramik Sektörü BAE Ülke Raporu.*

Coem. (2023). *Activity, Commitments Towards The Environment And The Community Abridged Version. Sustainability Report.*

Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (ÇŞİDB), (2023). *Seramik Üretimi: Sektörel Uygulama Kılavuzu (Taslak),* Sanayiden kaynaklanan Hava Kirliliğinin Belirlenmesi ve Azaltılmasına Yönelik Uygulamanın Kolaylaştırılmasının Sağlanması.

CWR. (2023, December 13). *Ceramic World Review, Thecnology News Markets. Teknik Dergi,* 1–134.

Dalsaniya, H. A., & Bhatt, N. J. (2024). Water Footprint Analysis of Ceramic Tiles Industry. *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology, 11(4)* DOI: 10.17148/IARJSET.2024.11444

Dural, S., Şener, H. Y., & Taşkın, E. (2023). Uluslararası Pazarlarda İnovasyon ve Sürdürülebilirlik: X Seramik Şirketinde Değerlendirme. *İşletme Bilimi Dergisi, 11(2),* 113–131. <https://doi.org/10.22139/jobs.1269779>

T.C Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2018). *Detaylı Enerji Etüt Kılavuzu, Seramik Sektörü: Seramik Sektörü (EV-2018-02-V000) [Resmi Kılavuz].* Enerji Verimliliği Dairesi Başkanlığı, Eğitim, Etüt ve Yetkilendirme Grubu.

<https://evcedruzgar.enerji.gov.tr/verimlilik/document/Seramik%20Sekt%C3%B6r%C3%BC%20Detayl%C4%B1%20Enerji%20Et%C3%BCd%C3%BC%20K%C4%B1lavuzu.pdf>

FISSAC. (2020). *Fostering Industrial Symbiosis for a Sustainable Resource-Intensive Industry Across the Extended Construction Value Chain [Araştırma Raporu].* Horizon 2020. DOI: 10.3030/642154. <https://cordis.europa.eu/project/id/642154>

Güzelgün Hangün, P., & Acıbal, N. (2023). Metal Atık Katkılı Seramik Malzemenin Redüktif Pişirim Atmosferinde Artistik Yüzey Etkilerinin Araştırılması. *ODÜ Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi (ODUSOBİAD).*

<https://doi.org/10.48146/odusobiad.1263960>

Haner, S., & Haner, B. (2013). Serçeören (Balıkesir) Bölgesi Kalsiyum Meta silikatının Sağlık Gerekçelerinde Kullanımı Üzerine Araştırmalar. *DEÜ, Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 15.*

İzmir Kalkınma Ajansı. (2021, June 15). Demir-Çelik Sektöründe Temiz Üretim Yaklaşımıyla Kaynak Verimliliği Uygulamaları.

<https://kalkinmaguncesi.izka.org.tr/index.php/2021/06/15/demir-celik-sektorunde-temiz-uretim-yaklasimiyla-kaynak-verimlilik-uygulamalari/>

International Finance Corporation (IFC). (2007). *Environmental, Health, and Safety Guidelines, Ceramic Tiles and Sanitary Ware Manufacturing.* (Resmi Kılavuz) World Bank Group. <https://www.ifc.org/content/dam/ifc/doc/2000/2007-ceramic-tile-sanitary-ware-ehs-guidelines-en.pdf>

Imerys. (2023, January 27). *Imerys 'by-product used to produce %100 recycled tiles thanks to a successful start-up partnership.* (Basın Bülteni).

https://www.imerys.com/public/2023-01/Imerys%E2%80%99%20by-products%20used%20to%20produce%20recycled%20tiles_Press%20release_Jan%202023.pdf

Javaid, M., Haleem, A., Singh, R. P., Suman, R., & Gonzalez, E. S. (2022). Understanding the adoption of Industry 4.0 technologies in improving environmental sustainability. *Sustainable Operations and Computers*, 3, 203–217. <https://doi.org/10.1016/j.susoc.2022.01.008>

Kanoğlu, M. (2010). *Enerji Verimliliği Örnek Projeleri* (Teknik Kitap). Gaziantep Üniversitesi.

Kara, E., & Çuhadaroğlu, A. D. (2022). Seramik Ham maddelerinin Ayrı Ayrı Ögütülmesinin Etkilerinin İncelenmesi. *Teknik Bilimler Dergisi*, 12(2), 14–18. DOI: 10.35354/tbed.1081560

T.C. Adalet ve Kalkınma Bakanlığı. (2015). *Onuncu Kalkınma Planı (2014-2018): Seramik Çalışma Grubu Raporu.* (Resmi Rapor). Kalkınma Bakanlığı.

Kırtorun, E., & Karaer, F. (2018). Su Yönetimi ve Suyun Sürdürülebilirliği, Water Management And Sustainability Of Water. *Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi*, 1(2): 151-159. Uludağ Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Bursa.

Koçak, A., & Karasu, B. (2019). Differences Between Dry and Wet Route Tile Production. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 6(1), 8–23. DOI : 10.31202/ecjse.443880

Koyuncu, İ., Çakmak, E. G., İmer, D. Y., Şengür, R., Güçlü, S., & Ulutaş, F. (2015). *İklim Değişikliği ve seramik sektörü* [Rapor]. TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü

Kum, B. N., & Poyraz, M. (2022). Atık Yumurta Kabuklarının 1150°C’de Seramik Sır Bünyelerinde Kullanımı. *International Journal of Interdisciplinary and Intercultural Art*, 7(15), 39-51. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/2927667>

Kummoonin, N., Jaimasith, M., & Thiemsorn, W. (2013). Fabrication of Ceramic Floor Tiles From Industrial Wastes. In *Suranaree Journal of Science Technology* 21(2),65-77.

LIXIL. (2022). *LIXIL, Corporate Responsibility Report,2022.* LIXIL. https://www.lixil.com/en/impact/cr_library/pdf/LIXIL_CR2022_en.pdf

Madan, E. (2014). *Seramik Fırınlarında Atık Baca Gazından Enerji Geri Kazanımı ve Bir Uygulama* (Yüksek Lisans Tezi). Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilecik.

<https://acikkaynak.bilecik.edu.tr/xmlui/bitstream/handle/11552/234/10026778.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Mayer Su Arıtma Sistemleri. (2024). *Endüstriyel Ters Ozmoz Su arıtma Sistemleri, Seramik taş toprak ürünlerinde çamur hazırlama ve sır kaplama.* Retrieved January 12, 2024. <https://mayersuaritma.com/su-geri-kazanim-sistemleri/>

MEKA Beton Santralleri İmalat Sanayi ve Ticaret A.Ş. (2023). *30 Eylül 2023 konsolide faaliyet raporu.*

Meydanoglu, E. S. B., & Hurmaci, O. (2023). Impacts of Digitalization in Industry on Environmental Sustainability. *PressAcademia Procedia*, 17, 68-72. DOI: 10.17261/Pressacademia.2023.1755

Mezquita, A., Monfort, E., Ferrer, S., Jesús, M., Pitarch, M., Mezquita, A., Monfort, E., Vaquer, E., Ferrer, S., Pitarch, J. M., Arnal, M. A., & Cobo, F. (2014). *Reduction of CO₂-Emissions in Ceramic Tiles Manufacture by Combining Energy-Saving Measures.* Paper presented at the Ceramic Forum International, Universitat Jaume I, Castellon, Spain.

https://www.researchgate.net/publication/266001816_Reduction_of_CO2-Emissions_in_Ceramic_Tiles_Manufacture_by_Combining_Energy-saving_Measures

Mısır, A., & Arıkan, O. A. (2022). Avrupa Birliği (AB) ile Türkiye’de Döngüsel Ekonomi ve Sıfır Atık Yönetimi. *Çevre, İklim ve Sürdürülebilirlik*, 1(1),69-78. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/2300683>

Neves, A., Godina, R., Azevedo, S. G., Pimentel, C., & Matias, J. C. O. (2019). The Potential of Industrial Symbiosis: Case Analysis and Main Drivers and Barriers to Its Implementation. *Sustainability*, 11(24), 7095. <https://doi.org/10.3390/su11247095>

Poyraz, M., & Yılmaz, Z. (2018). Seramik Karo Sektöründe Sürdürülebilirlik ve Geri Dönüşüm. *Sanat ve Tasarım Dergisi*, 8(1), 256-270. <https://doi.org/10.20488/sanattasarim.510583>

World Resources Institute & World Business Council for Sustainable Development. (2023). *The Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard (Revised edition)*. World Resources Institute. <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/ghg-protocol-revised.pdf>

Shurygin, M., Guenther, C., Fuchs, S., & Prehn, V. (2021). Effective Treatment of The Wastewater From Ceramic Industry Using Ceramic Membranes. *Water Science and Technology*, 83(5), 1055–1071. <https://doi.org/10.2166/wst.2021.039>

T.C Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü. (2023). *Su Verimliliği Rehber Dokümanları Serisi Seramik Sıhhi Ürünlerin İmalatı* (NACE Kodu: 23.42). Ankara, Türkiye. <https://suverimliliği.gov.tr/pdf/23/11.pdf>

Türkiye İhracatçılar Meclisi (TİM). (2023). *İhracat 2023 Raporu*. TİM Ekonomik Araştırmalar Şubesi.

https://tim.org.tr/files/downloads/Strateji_Raporlari/TIM%20%C4%B0HRACAT%20RAPOR%202023%20D%C4%B0J%C4%B0TAL.pdf

Türkiye Seramik Federasyonu (TSF). (2019). *Seramik Sektörü Yerli Katma Değer Raporu & 8. Dönem Faaliyet Raporu (Haziran 2017- Haziran 2019)*. <https://serfed.com/upload/raporlar/TSF-2019-FAALİYET-RAPORU-SON.pdf>

Turkish Ceramics. (2022). *Seramik Sektörü Sürdürülebilirlik Eylem Planı*. https://tim.org.tr/files/downloads/T%C4%B0M%20S%C3%BCrd%C3%BCr%C3%BClebilirlik%20B%C3%BClteni%20ve%20Planlar%C4%B1/Seramik_Sektoru_Surdurulebilirlik_Eylem_Planı.pdf

Vaccaro, C., Aquilano, A., & Marrocchino, E. (2024). Alternative Sources of Raw Materials Outlook Ceramic Industry through Granite Waste Recycling: A Case Study from Buddusò, Sardinia, Italy. *Applied Sciences (Switzerland)*, 14(17), 7967. <file:///Users/macbookpro/Downloads/applsci-14-07967.pdf>

Villeroy & Boch AG. (2023). *Sustainability Report 2023*. Villeroy & Boch AG. https://www.villeroyboch-group.com/fileadmin/user_upload/images/Investor_Relations/Publikationen/Nachhaltigkeitsbericht/E-VundB_Nachhaltigkeitsbericht_2023_RZ_sec.pdf

Rak Ceramics. (2024). *Environmental Impact, Water Sustainability Report, Closed Loop Manufacturing System Overview*. <https://corporate.rakceramics.com/wp-content/uploads/2024/06/Water-sustainability.pdf>

Yuan, Q., Mohajerani, A., Kurmus, H., & Smith, J. V. (2021). Possible Recycling Options of Waste Materials in Manufacturing Ceramic Tiles. *International Journal of GEOMATE*, 20(78), 73–80. <file:///Users/macbookpro/Downloads/buildings-12-00017.pdf>

Zanelli, C., Conte, S., Molinari, C., Soldati, R., & Dondi, M. (2020). Waste Recycling In Ceramic Tiles: a technological outlook. *Resources, Conservation and Recycling* 162. DOI:10.1016/j.resconrec.2020.105289

EKLER

EK-1: KÜTLE DENKLİĞİ HESAPLAMALARI

Aşağıda bölüm 6.1'e ait kütle denklığı hesaplamaları bulunmaktadır.

$$\text{Toplam Girdiler} = \text{Toplam Çıktılar}$$

$$\text{Ham Maddeler} + \text{Su} + \text{Elektrolit}$$

$$= \text{Ürün} + \text{Buharlaşan Su} + \text{Atık Su} + \text{Katı Atık} + \text{Bünye Gazı}$$

$$\text{Bisküvi Ham Maddesi} - \text{Katı Atık} + \text{Engob Ham Maddesi} + \text{Sır Ham Maddesi} + \text{Su}$$

$$= \text{Ürün} + \text{Buharlaşan Su} + \text{Katı Atık} + \text{Atık Su}$$

$$\text{Bisküvi Ham Maddesi} + \text{Engob Ham Maddesi} + \text{Sır Ham Maddesi} + \text{Su}$$

$$= 49.203 + 42.896 + 22.868 + 200.000 + 3.268 = 318.235 \text{ ton/yıl}$$

$$\text{Üretimde kullanılan su} = \text{toplam suyun } \%70'i = 285.970 \times 0,70 = 200.000 \text{ ton/yıl}$$

$$\text{Fabrika prosesinde buharlaşan su miktarı} = \%99 = 200.000 \times 0,99 =$$

$$200.000 \text{ ton/yıl}$$

$$\text{Katı Atık } \%2 = \text{Kuru ham madde toplamının } \%2'si = 114.967 \times 0,02 =$$

$$2.299,340 \text{ ton/yıl}$$

$$\text{Kalan Kuru Ham Madde Miktarı} = 114.967 - 2.299,340 = 112.667,660$$

$$\text{Atık Su, } \%1 = 285.970 \times 0,01 = 2.859,700$$

$$\text{Proses çıktıları} = \text{Ürün} + \text{Buharlaşan Su} + \text{Katı Atık} + \text{Atık Su}$$

$$= \text{Ürün} + 200.000 + 2.299,340 + 2.859,7 = 318.235 \frac{\text{ton}}{\text{yıl}}$$

$$\text{Ürün} = 318.235 - 205.159 = 113.076 \text{ ton/yıl}$$

$$\text{Pişme Sırasında bünyeden atılan gaz, } \%2 = 113.076 \times 0,02 = 2.261,520 \text{ ton/yıl}$$

$$\text{Nihai ürün} = 113.076 - 2.261,520 = 110.814,48 \text{ ton/yıl}$$

$$\text{Nihai ürün } \%'si = \frac{[\text{nihai ürün}]}{(\text{Katı atık} + \text{Nihai ürün})} \times 100 =$$

$$\frac{[(110.814,480)]}{(2.299,340 + 110.814,480)} \times 100 = \%98$$