MERMER ÇAMURUNUN GÜNEŞ HAVA ISITICILI SİSTEMLERLE KURUTULARAK GERİ KAZANIM POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI

Melsa KORKMAZ

T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MERMER ÇAMURUNUN GÜNEŞ HAVA ISITICILI SİSTEMLERLE KURUTULARAK GERİ KAZANIM POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI

Melsa KORKMAZ
501804010

Prof. Dr. N. Kamil SALİHOĞLU

(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2022

Her Haklı Saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

MERMER ÇAMURUNUN GÜNEŞ HAVA ISITICILI SİSTEMLERLE KURUTULARAK GERİ KAZANIM POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI

Melsa KORKMAZ
Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. N. Kamil SALİHOĞLU

Bu tez çalışması, mermer üretiminin çevre ile uyumlu yapılması, üretim sırasında oluşan mermer çamuru ve toz atıklarının en verimli şekilde değerlendirilmesinin araştırılması amaçlı yapılmıştır. Yapılan kaynak araştırmasıyla mermer çamuru ve toz atıklarının farklı sektörlerde alternatif ham madde olarak değerlendirilme potansiyelinin olduğu, toz formundaki atıkların yeniden kullanıma daha uygun olması nedeniyle, mermer çamurunun uygun şekilde yönetimi için öncelikle su içeriğinin azaltılması gerektiğinden, kurutma işlemi uygun görülmüştür. Kurutma teknolojisinin seçiminde küresel ölçekte çevre kirliliğine ve iklim değişikliğine neden olan fosil yakıt kaynaklı klasik kurutma teknolojileri yerine, çevre dostu, sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji kaynaklı teknolojiler değerlendirilmiştir. Bu çalışma için Güneş enerjisiyle doğal kurutma uygulama esaslı literatürde güneş hava ısıtıcılı sistem olarak tanımlanan özellikte prototip tasarlanmıştır. Tez çalışması genel olarak literatür taraması ve saha çalışmaları olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Saha çalışmaları üç ayrı alanda yürütülmüştür. Saha çalışmalarının ilk aşaması olan laboratuvar çalışmalarında, mermer çamuru özelliklerinin belirlenmesi amaçlı analizler yapılmış, tasarlanan prototipin mermer çamurunu kurutma performansı farklı dönemlerde test edilmiştir. İkinci aşamada prototip için belirlenen en iyi performans özellikleri doğrultusunda, sistemin gerçek bir mermer çamuru üreticisi konumundaki tesis için tasarlanması halinde tam ölçekli projelendirme çalışılmış, gerekli teknik özellikler belirlenmiş ve maliyet analizi yapılmıştır. Saha çalışmalarının üçüncü ve son aşamasında tez konusu sektörün mevcut durumunun belirlenmesi ve güneş hava ısıtıcılı sistemlerin sahada uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi için mermer atık üreticileri ve atığın kullanım potansiyelinin bulunduğu sektör temsilcileriyle görüşmeler yapılmıştır. Tez çalışmasının sonucunda, geri kazanım için güneş hava ısıtıcılı sistemin mermer çamurunun kurutulmasında verimli olduğu görülmüştür. Bu çalışma ile atık yönetiminde yenilenebilir enerji destekli geri kazanım uygulamalarının çevresel ve ekonomik açıdan katkılarının değerli olduğu sonucuna ulaşılmıştır

Anahtar Kelimeler: güneş hava ısıtıcılı sistem, mermer çamuru, geri kazanım

ABSTRACT

MSc Thesis

RECOVERY POTENTIAL INVESTIGATION OF MARBLE SLUDGE BY DRYING WITH SOLAR AIR HEATING SYSTEMS

Melsa KORKMAZ

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied SciencesDepartment of Environmental Engineering

Supervisor: Prof. Dr. N. Kamil SALİHOĞLU

This thesis study was carried out with the aim of making marble production in harmony with the environment, and investigating the most efficient evaluation of marble sludge and dust wastes formed during production. As a result of the resource research, marble sludge and powder wastes have the potential to be used as alternative raw materials in different sectors, because waste in powder form is more suitable for reuse, the water content must be reduced first for the proper management of marble sludge, and various drying and grinding processes are needed. process was deemed appropriate. In the selection of drying technology, environmentally friendly, sustainable renewable energy-based technologies were evaluated instead of traditional fossil fuel-based conventional drying technologies that cause environmental pollution and climate change on a global scale. A prototype has been designed, which is defined as a solar air heater system in the literature based on natural drying with solar energy. The thesis study was carried out in two stages, namely literature review and fieldwork. Fieldwork was carried out in three different categories. In the laboratory studies, which is the first part of the field work, analyzes were made to determine the properties of marble mud, and the drying performance of the marble mud of the designed prototype was tested in different periods. In the second part, in line with the best performance characteristics determined for the prototype, the requirements and cost analysis were made if the system is designed for a real marble mud producer facility. In the third part, in order to determine the current situation and to evaluate the effect of the application in the field, interviews and surveys were carried out with the marble mud and dust waste producers and the sector officials where the use potential of the said waste, as a result of the resource research, was conducted. As a result of the thesis, it was stated that such new applications in waste management are valuable in terms of environmental and economic contributions and should be supported.

Keywords: solar air heater system, marble sludge, recovery

ÖNSÖZ ve/veya TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca beni yönlendiren ve yardımlarını esirgemeyen, değerli hocam ve danışmanım sayın Prof. Dr. N. Kamil Salihoğlu'na, tezimin hazırlanması aşamasında teknik ve bilimsel açıdan yardımcı olan sayın Dr. Zeinab Amin'e, maddi ve manevi destekleyen aileme, bana her zaman cesaret veren anlayışını ve yardımlarını eksik etmeyen hayat arkadaşım M. Şerzan Özcan'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Melsa KORKMAZ

04/04/2022

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET..... i
ABSTRACT..... ii
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR iii
SİMGE ve KISALTMALAR DİZİNİ..... v
ŞEKİLLER DİZİNİ..... vi
ÇİZELGELER DİZİNİ……..... vii
1.GİRİŞ..... 1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI 4
2.1. Güneş Hava Isıtıcılı Sistemler…….. 4
2.2. Güneş Enerjisi ve Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli……... 7
2.3. Türkiye'de Mermer Sektörü …… 11
2.4. Mermer Sektörü Atıklarının Çevresel Etkileri ve Ulusal Mevzuattaki Yeri……... 12
2.5. Mermer Atıklarının Geri Kazanımına Yönelik Uygulamalar…… 13
3. MATERYAL ve YÖNTEM..... 23
3.1.1. Tasarlanan Prototip..... 23
3.1.2. Laboratuvar Ekipmanları……. 25
3.1.3. Mermer Çamuru Özellikleri……... 28
3.1.4. Deneysel Tasarım ……... 29
3.2. Tam Ölçekli Projelendirme için Maliyet Yaklaşımı…….. 31
3.3. Sektör Temsilcileriyle Yapılan Görüşmeler……. 32
4. BULGULAR..... 34
4.1. Laboratuvar Çalışmalarına İlişkin Bulgular…….. 34
4.1.1 Bahar Dönemi Analizleri……. 35
4.1.2 Yaz Dönemi Analizleri…… 36
4.1.3 Güz Dönemi Analizleri…… 37
4.1.3.1 Sistem Örtü Performansları…….. 39
4.1.3.2 Sistemin Konvansiyonel Olarak Çalıştırılması-Sera Etkisinin Değerlendirilmesi……. 40
4.1.3.3 Sisteme Yüklenen Numune Miktarının Değiştirilmesi…… 41
4.1.3.4 Numunenin Fiziksel Yöntemlerle Karıştırılmasının Kurumaya Etkisi 42
4.1.4 Dönemlerin Karşılaştırılması……... 43
4.1.5 Sistemin Yıllık Performansı…… 44
4.2. Tam Ölçekli Projendirme için Maliyet Yaklaşımına İlişkin Bulgular….. 45
4.3. Sektör Temsilcileriyle Yapılan Görüşmelere İlişkin Bulgular…… 51
5.TARTIŞMA ve SONUÇ..... 62
KAYNAKLAR..... 65
EKLER…… 68
ÖZGEÇMİŞ..... 73

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
α	Eğim açısı

Kısaltmalar	Açıklama
CBR	Kaliforniya Taşıma Oranı
FS	Fiber Sement
PET	Polietilen Terefetalat
PVC	Polivinil klorür
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
TGA	Termogravimetrik Analiz
XRD	X Işını Kırınımı
XRF	X Işını Floresansı

ŞEKİLLER DİZİNİ

		Sayfa
Şekil 2.1	Dünya güneş enerji atlası……..	8
Şekil 2.1.1	Türkiye güneş enerji atlası……	9
Şekil 2.1.2	Bursa ili güneş enerji atlası……...	10
Şekil 2.1.3	Bursa ili aylık ortalama radyasyon değerleri……	10
Şekil 2.1.4	Bursa ili yıllık ortalama radyasyon değerleri……	11
Şekil 2.4.	Mermer atıklarının farklı sektörlerde kullanım oranları...	14
Şekil 3.1.1.	Prototip şeması……..	24
Şekil 3.1.2.	Prototipin gerçek görüntüsü……..	25
Şekil 4.1.1.	Bahar dönemi analiz bulguları……..	36
Şekil 4.1.2.	Yaz dönemi analiz bulguları…….	37
Şekil 4.1.3.	Güz dönemi analiz bulguları…….	38
Şekil 4.1.3.1	Sistem örtü performans verilerinin karşılaştırılması…….	40
Şekil 4.1.3.2	Sistemin konvansiyonel çalıştırılması……..	41
Şekil 4.1.3.3	Yükleme miktarının kuruma performansına etkisi……...	42
Şekil 4.1.3.4	Numunenin fiziksel yöntemlerle karıştırılmasının kuruma performansına etkisi……	43
Şekil 4.1.4	Dönemlerin karşılaştırılması…….	44
Şekil 4.1.5	Sistemin yıllık performansı……...	45
Şekil 4.2.1	3D model ön görünüm……..	47
Şekil 4.2.2	3D model üst görünüm…….	48
Şekil 4.2.3	3D model genel görünüm…….	48
Şekil 4.3	Firmaların atık oluşum oranı…….	52
Şekil 4.3.1	Firmaların mevcut atık yönetimi……...	53
Şekil 4.3.2	Görüşme yapılan firmaların sektörel dağılımı……..	54
Şekil 4.3.3	Mermer atıklarının kullanımına ilişkin değerlendirmeler	57
Şekil 4.3.4	Mermer atıklarının üretimde kullanımına dair özellikler	58
Şekil 4.3.5	Mermer atıkları için gerekli ön işlemler……...	58
Şekil 4.3.6	Mermer atıklarının geri kazanımında karşılaşılan sorunlar…….	59

ÇİZELGELER DİZİNİ

			Sayfa
Çizelge	3.1.2	Deney ekipman ve malzemeleri…….	26
Çizelge	3.1.3	Mermer çamurunun özellikleri……...	29
Çizelge	3.1.4	Deneysel tasarım……	31
Çizelge	4.2	Tam ölçekli projelendirme için oluşan maliyet…….	49

1. GİRİŞ

Sanayi ve teknolojinin gelişimi sonucu artan üretim faaliyetleri, doğal kaynakların kontrolsüz kullanımını dolayısıyla atık oluşumunu arttırmaktadır. Doğru bir şekilde yönetilmeyen atıklar çevre ve ekosistemi tehdit eder hale gelmiştir. Çevre bilincinin gelişmesi ile birlikte doğal çevrenin korunumu konusu önem kazanmış ve buna ilişkin politikalar oluşturulmuştur. Atık miktarının düşürülmesi, atıkların çevre ile uyumlu hale getirilerek yönetimi çevre koruma uygulamaları arasında yer almaktadır (Yeşil, 2011). Bu tez çalışması, 5,1 milyar m³ toplam rezervi ile dünya doğal taş rezervine sahip olan Türkiye'de 3,872 milyar m^3 işletilebilir mermer rezervi bulunan sektörün atık yönetimi ile doğrudan ilgilidir. Ticaret Bakanlığı tarafından hazırlanan 2021 Yılı Doğal Taşlar Sektör Raporunda, Türkiye'nin, 5,1 milyar m^3 mermer rezervine sahip olduğu ve bu değerin 15 milyar m^3 olduğu tahmin edilen dünya rezervinin %33'ünü karşıladığı ifade edilmiştir. Raporda rezervlerin bölgelere göre, Ege Bölgesinde %32, Güneydoğu Anadolu, Karadeniz Doğu Anadolu ve Akdeniz Bölgesinde %31, Marmara Bölgesinde %26 ve İç Anadolu Bölgesinde %11 şeklinde dağıldığı belirtilmiştir. Mermer sektöründe yaklaşık 1.500 adet doğal taş ocağının, büyük ölçekli 2.000 kadar fabrikanın, orta ve küçük ölçekli 9.000 atölyenin olduğu ve toplamda 300.000'e yakın kişinin istihdam edildiği belirtilmiştir. Üretimin en çok gerçekleştiği illerin Afyon, Balıkesir, Bilecik, Denizli ve Muğla olduğu, belirtilen illerdeki üretimin, tüm üretimin %65'ine denk geldiği ifade edilmiştir.

Mermer ocaklarından çıkarılan mermer blokları, kesim ve işleme tesislerinde yarı ürün veya ürün haline getirilmektedir. Tüm bu işlemler sırasında atık olarak parça mermer, mermer tozu ve mermer çamuru oluşmaktadır. Bu atıkların çevreyle uyumlu yönetilmemesi ve geri kazanılmaması durumu çevreyi olumsuz olarak etkilemektedir (Öztürk 2018).

Bu tez çalışması, mermer üretiminin çevre ile uyumlu yapılması, üretim sırasında oluşan mermer çamuru ve toz atıklarının en verimli şekilde değerlendirilmesi amaçlı yapılmıştır. Çalışma kapsamında incelen çok sayıda araştırmanın doğrultusunda sürekli arttığı için depolanması işletmeler için zorlu hale gelen mermer çamuru ve tozunun farklı sektörlerde üretimde kullanılmak üzere alternatif

hammadde olarak değerlendirilmesinin, çevre ve ekonomi açısından olumlu etkiler yaratacağı sonucuna ulaşılmıştır. Kaynak araştırması kapsamında incelenen çok sayıda literatür çalışmasına göre mermer tozunun genel olarak beton, kâğıt, boya, plastik sanayi, seramik, cam sanayi, tarım ve inşaat sektörü vb. birçok farklı sektörde kullanım potansiyeli bulunmaktadır.

İncelenen çalışmalarda genellikle toz formunun kullanıma uygun olması nedeniyle mermer çamurunun çeşitli kurutma ve öğütme benzeri ön işlemlere ihtiyaç duyduğu anlaşılmıştır. Bu tez çalışması kapsamında mermer çamurunun uygun şekilde yönetimi için öncelikli hedefin su oranının düşürülmesi kararlaştırılmış, bu amaçla kurutma işlemi uygun görülmüştür. Fosil yakıtların tükenmekte olduğu ve mevcut rezervlerin sınırlı oluşu nedeniyle kaynakların verimli olarak değerlendirilmesi ve düşük karbon ayak izli, yenilenebilir enerji kaynaklarının tercih edilmesi gerekmektedir (Saini, Patil ve Powar, 2018). Bu doğrultuda küresel ölçekte iklim değişikliğine ve çevre kirliliğine neden olan fosil yakıt kaynaklı geleneksel kurutma teknolojileri yerine, çevre dostu, yenilenebilir enerji kaynaklı sürdürülebilir teknolojiler değerlendirilmiştir.

Güneş enerjisi potansiyelinden faydalanma esaslı çevre yatırımlarında yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yayılması nedeniyle doğal susuzlaştırma ve kurutma yöntemi kullanılmıştır. Doğal susuzlaştırma ve kurutma yöntemlerinde ana enerji kaynağı Güneş'tir. Türkiye coğrafi konumu sebebiyle yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahip ülkeler arasındadır. Arıtma çamuru ve diğer atık çamurların güneş hava ısıtıcılı sistemler ile kurutulması konulu çalışmalar sınırlı sayıdadır. Ameria, Haninia, Benhamoub ve Chibaneb (2018) tarafından yapılan çalışmada arıtma çamurunun parazit kontaminasyonunu önlemesi ve emisyonun kontrolü için çamurun kapalı sistemlerde kurutulması amaçlanmış ve bu doğrultuda güneş hava ısıtıcılı sistemler tasarlanarak sistemin performans verimi araştırılmıştır. An ve Liu (2017) tarafından yapılan çalışmada ise arıtma çamurlarının güneş hava ısıtıcılı sistemlerle kurutulmasında nem, hava sıcaklığı, güneş ışınımının yoğunluğu, kurutma havası akış hızı ve radyasyon yoğunluğu gibi temel etki faktörlerini incelenmiştir. Salihoğlu (2018) tarafından yapılan çalışmada arıtma çamurunun güneş enerjisi ile kurutulması amaçlı güneş hava ısıtıcılı sistemlerin benzeri tasarımlar kullanılarak performans değerlendirilmesi yapılmıştır.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, mermer çamurların kurutulması konusu ve tasarımı bakımından bu alanda yeni bir uygulamalardan biri olduğu görülmektedir. Bu tez çalışmanın, literatürdeki söz konusu alandaki eksikliğe fayda sağlayacağı düşünülmektedir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Güneş Hava Isıtıcılı Sistemler

Güneş temiz, yenilenebilir, uzun ömürlü ve ekonomik bir enerji kaynağıdır. Güneş enerjisinden faydalanma esaslı farklı yöntem ve teknolojiler kullanılmaktadır. Çalışma için kaynak araştırması sırasında literatürde güneş hava ısıtıcı olarak tanımlanan sistemler üzerinden bir prototip tasarlanmıştır. Güneş ışınımını ısı enerjisine çeviren bu sistemler, çevre dostu, kolay kurulumlu ve kullanım bakımından basit sistemlerdir (Saini ve diğerleri, 2018). Bu sistemlerde ana enerji kaynağı Güneş olduğundan, fosil yakıt kullanımına olan ihtiyacı azaltarak ekonomik fayda sağlamaktadır (Saxena, 2015). Literatür çalışmaları incelendiğinde küresel ölçekte bu ve benzeri sistemlerin genellikle yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahip Mısır, Hindistan, Cezayir, Çin, vb. gibi ülkelerde kullanıldığı ve geliştirildiği görülmektedir. Lahori, Gupta ve Yaday (2016) tarafından yapılan çalışmada kullanım amaçlarına göre farklılaşan bu sistemlerin genellikle gıda endüstrisi ürünlerinin (tahıl, meyve ve sebze) kurutulmasında, yapı sanayi ürünlerinin nem içeriklerinin düşürülmesinde (tuğla, seramik vb. kurutulması), çiftlik, sera ve depo benzeri büyük basit tasarımlı yapılarda genel alan ısıtmasında kullanıldığı belirtilmiştir. Çeşitli teknolojilerle geliştirilen güneş enerjisine ek farklı bir kaynaktan da enerji alacak şekilde tasarlanan hibrit tipli (fotovoltaik panelli, yedek ısıtıcılı, faz değiştirici malzeme ile ısı depolama özellikli) modeller de bulunmaktadır.

Güneş kurutma teknolojisi, nemli malzemelerin dış havayı güneş enerjisi kullanarak doğrudan ısıtarak nem içeriğinin buharlaştırılması şeklinde çalışmaktadır. Isı emilimi gerçekleştikten sonra malzemenin yüzey suyu buharlaşır, havaya yayılır. Kurudukça, malzemenin iç nem göçü yavaş yavaş malzeme yüzeyine geçer. Sonunda nihai nem içeriğine ulaşılır. Bu nedenle, kurutma işlemi bir ısı ve malzeme değişimi işlemidir. Kurutma işleminde farklı faktörlerin etkilerini yapılan çalışmalarda incelemiştir. Özellikle hava sıcaklığı ve yüzey kuruma hızının, çamur kurutma üzerinde büyük etkiye sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Kurutma, katı bir ürün elde etmek için ısıl olarak su içeriğini çıkarma işlemi olarak tanımlanmaktadır. Ürün matrisinde mevcut olan veya katı maddenin mikro yapısında sıkışmış olan gevşek kimyasal kombinasyonda tutulan neme, saf sıvınınkinden daha az bir buhar basıncı uygulayana bağıl nem denir. Bağıl/bağlanmış nemi aşan neme bağsız nem denir. Bir katı termal kurumaya maruz kaldığında, aşağıdaki iki işlem aynı anda gerçekleşir:

I. Nemi yüzeyden buharlaştırmak için çevredeki ortamdan enerji transferi

II. İç nemin katının yüzeyine aktarılması ve ardından enerji uygulamasından dolayı yüzeydeki nemin buharlaştırılması

Kurutma hızı, iki işlemin devam ettiği hıza bağlıdır. Kuruma çevreleyen ortamdan ıslak katıya ısı olarak enerji transferi, taşınım, iletim veya radyasyonun bir sonucu olarak ve bazı durumlarda bu etkilerin bir kombinasyonunun bir sonucu olarak ortaya çıkabilir.

Kuruma davranışları aşağıdakilere bağlıdır:

- Ürün
- Ebat ve şekil
- İlk nem içeriği
- Nihai nem içeriği
- Kütle yoğunluğu
- Kurutulacak ürünün kalınlığı
- Ürün sıcaklığı
- Ürün ile temasa giren havanın sıcaklığı ve nemi
- Havanın hızı (ürünle temas halindeki)

Bir güneş hava ısıtıcılı sistemin amacı, yeterli miktarda ısı, yani oluşan nem altında çevre ısısından daha fazla ısı sağlamaktır. Ürünün içine giren hava buhar basıncını arttırır ve kuru havanın bağıl nemini düşürür, böylece havanın nem taşıma kapasitesi arttırılabilir. Hava, sistemden doğal konveksiyon yoluyla veya bazen bir fan ile çekilir. Kuruma süresi güneşli koşullar altında kısadır ve buna bağlı olarak olumsuz hava koşulları sırasında uzamaktadır.

Kurutucunun yıllık kapasitesinin hesaplanmasında kuru ve yağışlı mevsim arasındaki kurutma kapasitesindeki fark dikkate alınmalıdır.

Büyük ölçekli güneş hava ısıtıcılı solar kurutucuların ticari amaçlar için kullanımı halinde, kurutucuya kötü hava koşullarının egale edilmesi amaçlı yedek ısıtıcı ile donatılması tavsiye edilmektedir.

Ameria, Benhamoub ve Chibaneb (2018) tarafından yapılan çalışmada Güneş radyasyonu ile kuru – sıcak hava arasında doğrusal bir ilişki elde edilmiştir. Güneşli günlerde iyi kuruma performansına ulaşıldığı, ısı depolamasının ayrıca açık havada güneşle kurutmada mümkün olmayan, yağış ve yüksek bağıl nem gibi hava şartlarında sürekli kuruma koşullarına sağladığı belirtilmiştir. Ayrıca güneşli bir günde, kurutucudaki sıcaklığın çevre sıcaklığından 20-22^{o} C daha fazla olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Güneş Hava Isıtıcılı Sistemlerin kullanımının getirdiği faydalar aşağıda sıralanmıştır.

- Sistemin kapalı oluşu, iç şartları korur, yüksek sıcaklık ve düşük nemin hakim olduğu ortamda kuruma hızı arttırdığından kurutma performansı yüksektir.
- Ürün kapalı sistemde kurutulduğu zaman toz, haşere vb. dış faktörler egale edilir. Kullanılan dış cephe malzemeleri su geçirmediğinden yağmur, kar vb. gibi kötü hava şartlarından etkilenmez.
- Nem oranı fazla olan ortamlar mikroorganizma ve haşereler vb. canlılar için uygun ortamlar olduğundan patojen riski oluşmaktadır. Bu sistemlerin kapalı, korunaklı oluşu ve yüksek sıcaklık değerlerinin yakalanması sayesinde belirtilen riskler minimize edilir.
- Tiwari (2016)'ya göre bu sistemler, standart sera benzeri sistemlerle karşılaştırıldığında kuruma hızının daha yüksek olması nedeniyle yaklaşık üçte biri alanla aynı kurutma verimine ulaşılmaktadır.
- Sistemin kapalı ve korunaklı oluşu kurutulan ürünün kalitesini artırmaktadır. Dış şartlardan (rüzgar, kir, toz, yağış) korunduğundan kurutma verimi yüksektir.

- Bu sistemler için gerekli malzeme ve ekipmanlar kolay ulaşılabilir ve benzeri diğer sistemlere göre düşük maliyetlidir.

Güneş Hava Isıtıcılı Sistemlerin kullanımının olumsuz yönleri aşağıda sıralanmıştır.

- Ana enerji kaynağı Güneş olduğundan, yalnızca güneş enerjisi potansiyeli yüksek bölgelerde kullanımı uygundur.
- Sistemlerde kullanılan teknolojinin yaygın olmaması nedeniyle işletme ve bakımında yetkin uzman sayısı sınırlıdır.
- Modern tip hibrit kurutucularla kıyaslandığında daha düşük verime sahiptirler.
- Sistemin sürekli kullanımının gerekli olduğu durumlarda, kötü hava şartları gereği yedek ısıtma kaynağının olması zorunludur.

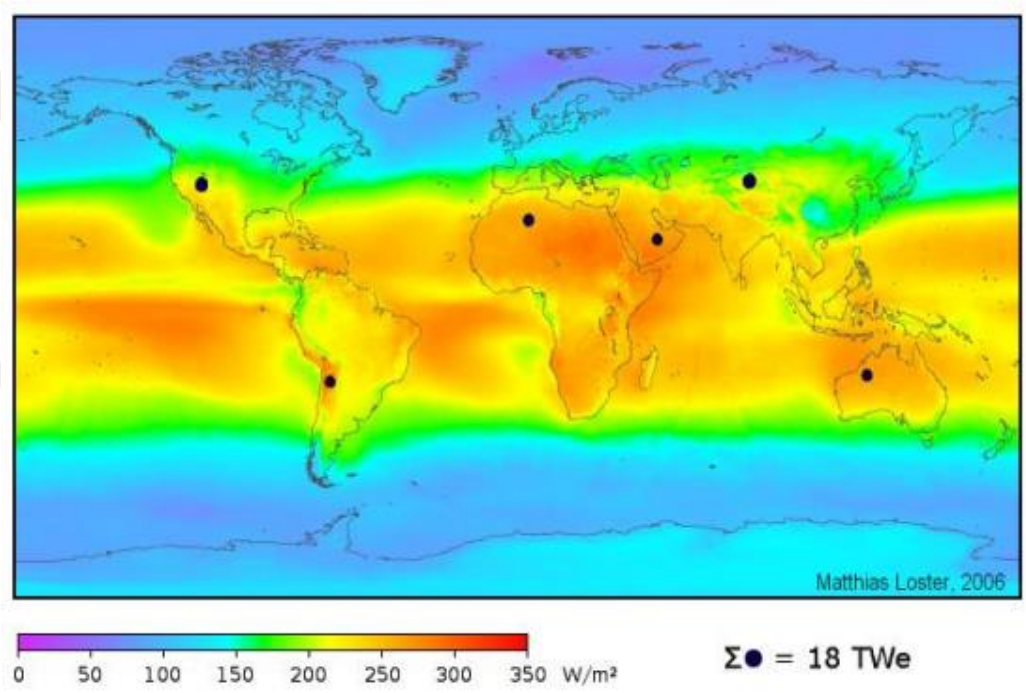
2.2. Güneş Enerjisi ve Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde yer alan füzyon süreci ile (hidrojen gazının helyuma dönüşmesi) açığa çıkan ışıma enerjisidir. Güneş, yaydığı yaklaşık $3{,}9x10^{26}$ W güç ile dünyadaki tüm enerji ihtiyacını (2017 yılı için 13.730 MTEP) karşılayacak düzeyde, temiz ve tükenmez bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Güneş her saniyede güneş çok büyük miktarda enerjiyi güneş sistemine yaymaktadır. Dünyaya bu enerjinin çok az bir miktarı ulaşmaktadır. Atmosferin dış yüzeyindeki her metrekareye ortalama 1367 W güç düşmektedir. Atmosfer gelen bu ışımanın genellikle X ışınlarından ve ultraviyole ışınlardan oluşan bir kısmını emerken bir kısmını ise yansıtmaktadır.

Güneş ışığından dünyanın yüzeyine ulaşan bir dakikalık enerji miktarı dünya genelinde bir yılda kullanılan enerjiden daha fazladır. Bu derece büyük ve yenilenebilir enerji kaynağının değerlendirilmesi amaçlı son zamanlarda yapılan çalışmalar hız kazanmıştır. Ülkeler fosil kaynakların çevreye verdiği zararlardan kaçınmak için yenilenebilir enerjiye geçişi hızlandırmıştır. Bu sayede güneş enerjisinden ısı ve elektrik üretimi ile ilgili birçok araştırma yapılmakta ve kullanımı yıllar geçtikçe artmaktadır. Güneş enerjisinden elektrik üretimi için birden fazla metot olmasına rağmen genel olarak eğilim güneşten gelen ışığın doğrudan elektriğe çevrildiği güneş hava ısıtıcılı sistemlere ilişkin çalışmalar

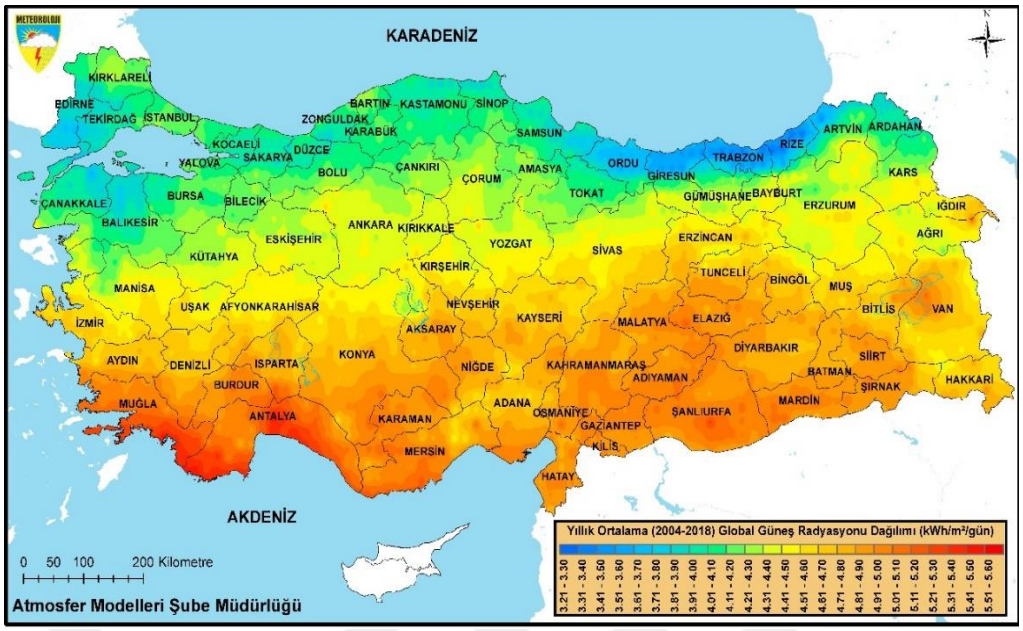
kısıtlı sayıdadır. Güneş enerjisinden yararlanma konusundaki çalışmalar özellikle 1970'lerden sonra hız kazanmış, güneş enerjisi sistemleri teknolojik olarak ilerleme ve maliyet bakımından düşme göstermiş, çevresel olarak temiz bir enerji kaynağı olarak kendini kabul ettirmiştir. Özellikle temiz bir enerji kaynağı olması ve kurulumdan sonra düşük maliyetle çalışması güneş enerjisinin önemini arttırmaktadır. (Anonim, 2022).

Dünya Güneş enerjisi atlası Şekil 2.1'de verilmiştir. Dünya'daki en fazla güneş enerjisi tesisi yatırımları gelişmiş ülkeler olan Avrupa ile Amerika ve artan bir ivme ile Çin'de yoğunlaşmasına rağmen en büyük potansiyel Afrika, Avustralya ve Güney Amerika'da yer almaktadır.



Şekil 2.1. Dünya Güneş Enerji atlası

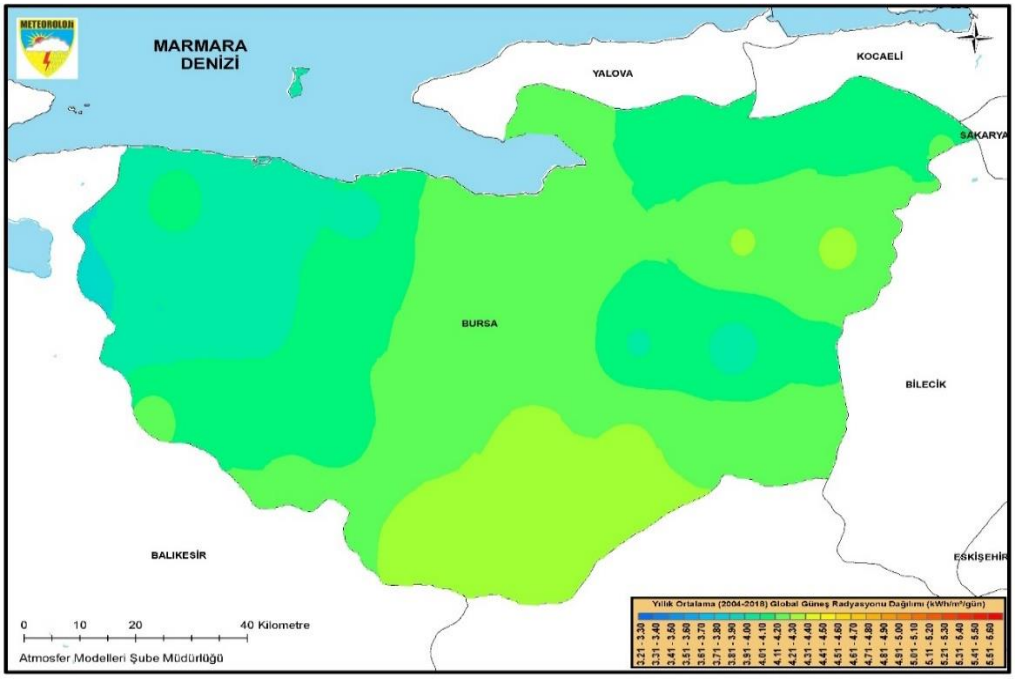
Türkiye'nin özellikle güney kesimleri yüksek güneşlenme kapasitesine sahip olup Avrupa ülkelerine kıyasla güneşlenme potansiyeli oldukça yüksektir. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası'na (GEPA) göre, yıllık toplam güneşlenme süresi 2.737 saat (günlük 7,5 saat), yıllık toplam gelen güneş enerjisinin 1.527 kWh/m² (günlük 4,2 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir. Şekil2.1.1'de Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlasına yer verilmiştir.



Şekil 2.1.1. Türkiye Güneş Enerji atlası

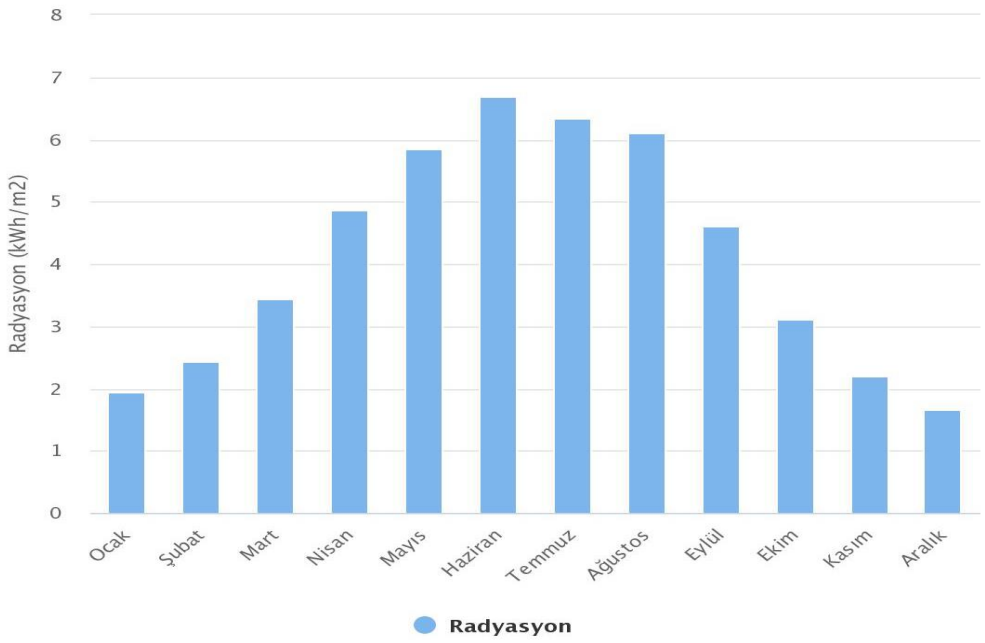
Kuzey bölgelerden güneye doğru gidildikçe güneşlenme potansiyelinin arttığı, Karadeniz Bölgesinin, coğrafi konumu ve yağmurlu gün sayısı nedeniyle en az ışınım alan bölge olduğu, Marmara ve Ege'nin orta değerlerde ışınım aldığı, İç Anadolu, Doğu Anadolu, Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu yüksek değerde ışınım alan bölgeler olduğu Şekil 2.1.1'de görülmektedir.

Tez çalışması için tasarlanan güneş hava ısıtıcılı sistem özellikli prototipe ilişkin analizler Bursa Uludağ Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü dış alanında yapıldığından Bursa İline ait Güneş Enerjisi Potansiyeli haritasına Şekil 2.12'de yer verilmiştir. Yıllık (2004-2018) ve aylık ortalama radyasyon değerleri Şekil 2.1.3 ve Şekil 2.1.4'te verilmiştir.



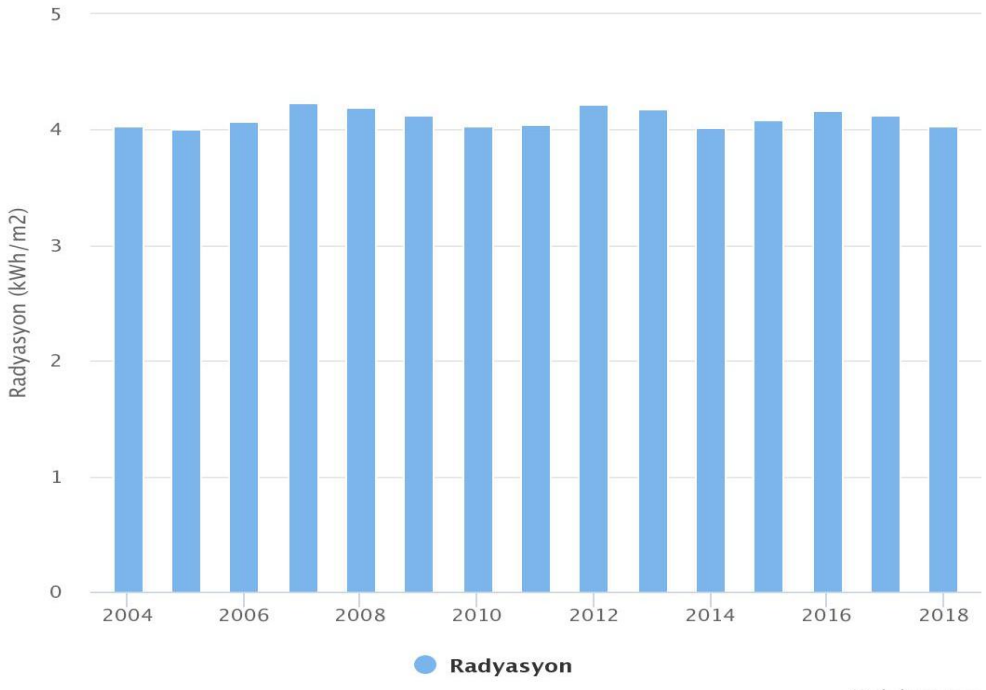
Şekil 2.1.2. Bursa ili Güneş Enerji atlası

Bursa İlinin bölgelere göre farklı potansiyellerde olduğu, özellikle güney kısımlarının Güneş enerjisi bakımından daha verimli olduğu Şekil 2.1.3'te görülmektedir.



Şekil 2.1.3. Bursa ili aylık ortalama radyasyon değerleri

Aylık ortalama radyasyon verilerinin bulunduğu Şekil 2.1.3'de en yüksek radyasyon değerlerine yaz mevsiminde özellikle haziran ayında ulaşıldığı, en düşük değerlerin kış mevsiminde özellikle aralık ayında olduğu görülmektedir.



Şekil 2.1.4. Bursa ili yıllık ortalama radyasyon değerleri

Şekil 2.1.4'te 2004-2018 yılları arasında en yüksek yıllık ortalama radyasyon değerleri 2007 ve 2012 yıllarında görülmüştür.

Tez çalışmasının devamında yapılan saha çalışmaları (sektör temsilcileriyle görüşme, tam ölçekli projelendirme) Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli bakımından en yüksek olan Güneydoğu Anadolu Bölgesinde gerçekleştirilmiştir. Yüksek potansiyele sahip bölgelerde güneş enerjisine yatırım yapmanın daha verimli, yatırım maliyetlerinin geri dönüş süresi diğer bölgelere göre daha kısa olacağı öngörülmektedir.

2.3. Türkiye'de Mermer Sektörü

Ticaret Bakanlığı tarafından hazırlanan Doğal Taşlar Sektör Raporunda (2021) Türkiye'nin, 5,1 milyar m^3 (13,9 milyar ton) mermer rezervine sahip olduğu ve bu değerin 15 milyar m^3 olduğu tahmin edilen dünya rezerv toplamının %33'ünü karşıladığı bilgisine yer verilmiştir. Raporda rezervlerin bölgelere

göre Ege Bölgesinde %32, Güneydoğu Anadolu, Karadeniz Doğu Anadolu ve Akdeniz Bölgesinde %31, Marmara Bölgesinde %26 ve İç Anadolu Bölgesinde %11 şeklinde dağıldığı belirtilmiştir. Mermer sektöründe yaklaşık 1.500 adet taş ocağının, büyük ölçekli 2.000 kadar fabrikanın, orta ve küçük ölçekli 9.000 atölyenin olduğu ve toplamda 300.000'e yakın kişinin istihdam edildiği belirtilmiştir. Üretimin en çok gerçekleştiği illerin Afyon, Balıkesir, Bilecik, Denizli ve Muğla olduğu, belirtilen illerdeki üretimin, tüm üretimin %65'ine denk geldiği ifade edilmiştir.

Mermer sektöründe, enerji ve suyun yoğun olarak kullanıldığı bilinmektedir. Özellikle blok mermerlerin kesimi esnasında fazla miktarlarda su kullanıldığı, üretim ve işleme sırasında ana maddenin yarısına yakınının atığa dönüştüğü bilinmektedir. Öztürk (2018) tarafından hazırlanan çalışmada Avrupa ve Amerika'da yaklaşık %80 oranında değerlendirilen mermer atıklarının Türkiye'de %20 olduğu belirtilmiştir.

2.4. Mermer Atıklarının Çevresel Etkileri ve Ulusal Mevzuattaki Yeri

İncelenen literatür çalışmalarında ve sektördeki işletmelerle gerçekleştirilen görüşmeler sonucu mermer bloklarının kesilmesi ve işlenmesi sırasında oluşan mermer tozu ve mermer çamuru miktarı oldukça yüksek olduğu görülmüştür. Bu atıkların çevreyle uyumlu yönetilmemesi ve geri kazanılmaması durumları çevre kirliliği ve ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Ocak ve işleme tesislerinin yoğun olduğu bölgelerde atıkların gelişigüzel depolandığı ve çevrenin olumsuz olarak etkilendiği bilinmektedir.

Mermer sektöründe mermer atıkları inert/etkisiz madde şeklinde tanımlanmakta ve genellikle geri kazanım uygulamalarında kullanılmayarak doğal alanlarda gelişigüzel depolanmaktadır. Mermer atıkları, inert özellikli olsa dahi atık yönetiminin sağlanamaması sonucu çevre ve ekosistem üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır. Maden Atıkları Yönetmeliğine göre mermer çamuru ve parça atıklarının arazilere verilmesi çevresel etkileri nedeniyle yasaklanmıştır. Mermer çamurlarının doğal ortama gelişigüzel yığılmasının çevre üzerinde yarattığı olumsuz etkiler aşağıda sıralanmıştır.

• Toprağın su süzme kapasitesi düşer, arazi verimi azalır, bitki gelişimi gerçekleşmez.

• Alıcı ortam sularının renk ve bulanıklık değerleri artar, su kalite değerleri olumsuz etkilenir.

• Atık yığınlarının dere yataklarına dökülmesi halinde sonucunda dere kesitlerinin daralması ve sel vb. felaketlerin oluşma ihtimali artar.

• Doğal ortamda gelişigüzel depolanan mermer çamurunun dış ortam şartları gereği kuruyup toza dönüşmesi ve sonrasında havaya karışması hava kirliliğine neden olur. Söz konusu çevrede yaşayan insanlar üzerinde solunum başta olmak üzere çeşitli sağlık sorunlarına neden olur.

• Çevre estetiği ve turizmi olumsuz olarak etkilenir.

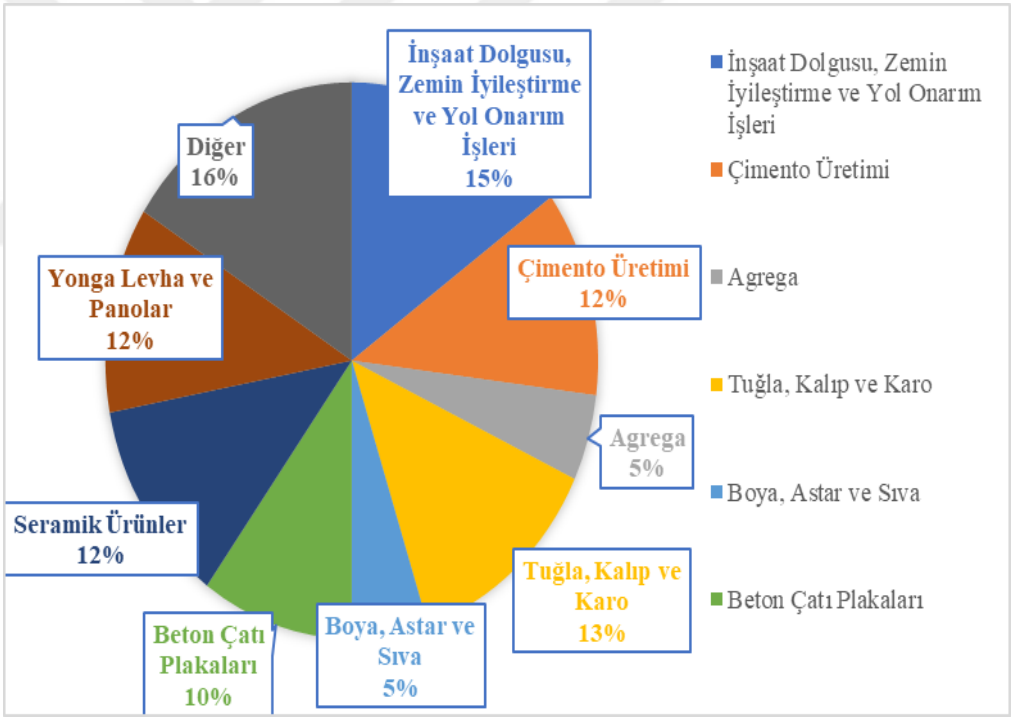
Dolayısıyla mermer atıklarının farklı sektörlerde değerlendirilmesi yukarıda ifade edilen ekonomik ve çevresel zararların engellenmesine katkı sağlayacaktır. Doğal kaynakların sınırlı olması ve gittikçe azalması durumu üretimin sürdürülebilirliği bakımından atık yönetiminde geri dönüşüm ve geri kazanım uygulamalarının gerçekleştirilmesini zorunlu hale getirmiştir.

Mermer atıklarının, çevre mevzuatına göre tehlikeli atık olmadığı Maden Atıkları Yönetmeliği'nin Ek:4 A İnert Atık Listesi'nde yer verilmesinden anlaşılmaktadır. Ocaklarda çıkan atık parçaları, kazı dışında herhangi bir kimyasal işlem yapılmamış olması durumunda Atık Yönetimi Yönetmeliğinde 01 01 02- Metalik olmayan maden kazılarından kaynaklanan atıklar kod ve tanımıyla mermer işleme tesislerinde kesme sonucu oluşan mermer parçaları ve 01 04 13- 01 04 07 atık kodları dışındaki taş yontma ve kesme işlemlerinden kaynaklanan atıklar ve tanımına yer verilmiştir.

2.5. Mermer Atıklarının Geri Kazanımına Yönelik Uygulamalar

İncelenen literatür çalışmalarıyla mermer faaliyetleri sonucunda açığa çıkan atık çamur ve tozlarının içeriği gereği önemli bir geri kazanım potansiyeline sahip olduğu anlaşılmıştır. Laboratuvar çalışmaları ile bu atıkların benzer nitelikli diğer doğal hammaddeler yerine ikame edilmesinin olası ve ekonomik

yönden değerli olduğu görülmüştür. Mermer çamurunun doğrudan kullanıldığı zemin dolgusu ve seramik harcına katılması dışında diğer kullanımlar için kurutma ve sonrasında öğütme benzeri ön işlemlerin gerektiği deneysel çalışmalar ve uygulamalardan anlaşılmaktadır. Şekil 2.5'teki grafik, T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığının 2019 yılı Aksaray Organize Sanayi Bölgesi'nde Endüstriyel Simbiyoz Olanaklarının Araştırılması Projesi Endüstriyel Simbiyoz Olanakları Raporuna göre mermer çamuru ve mermer toz atıklarının çeşitli uygulamalarda kullanım oranlarına ilişkin verilen değerlere göre oluşturulmuştur. Özellikle inşaat sektöründe; çimento, beton, tuğla, karo seramik, gaz beton üretimde, asfalt ve beton karışımlarında, baraj inşaatlarında, yol zemini ve çöp sahalarında dolgu malzemesi şeklinde, plastik, kauçuk, boya, otomotiv, orman ürünleri gibi endüstrilerde kullanım potansiyelinin olduğu sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 2.5. Mermer atıklarının farklı sektörlerde kullanım oranları

Marras, Careddu, Internicola ve Siotto (2010) tarafından yapılan çalışmada mermer atıklarının geri kazanımı ve yeniden kullanımı değerlendirilmiştir. Mermer atıklarının, kimyasal ve fiziksel özellikleri sayesinde büyük endüstrilerce çeşitli uygulamalarının olduğu görülmüştür. Mermer üretiminde ocaklar ve işleme tesislerinde çıkarma, kesme, cilalama işlemleri sırasında

oluşan çok küçük boyutlu mermer toz atıklarının geri kazanımı ve yeniden kullanması için önemli bir faaliyet olmadığı belirtilmiştir. Mermer işleme tesislerinin atık çamurlarının içeriğinde bulunan $CaCO_3$ tozunun, diğer üretim süreçlerinde hammadde olarak kullanılma potansiyelinin yapılan analizler doğrultusunda uygulanabilirliğini göstermektedir. Yapı ürünleri, kağıt, kauçuk ve lastik endüstrilerinde mermerin üretiminde $CaCO_3$ kullanıldığından, bu sektörler için mermer atıklarının kullanılabilirliği araştırılmıştır. Özellikle yapı endüstrisi için farklı ürünler üretmek üzere mermer tozu incelenmiş, özellikle tuğla üretiminde alternatif ham madde ve yan ürün olarak kullanılma potansiyeli araştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda mermer tozunun fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenerek deneme amaçlı tuğla üretiminde kullanılmıştır. Deneysel çalışmaların sonucunda tuğla üretiminde mermer tozu kullanımının uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Konuyla ilgili 2016 yılında Kushwah ve Prakash tarafından yapılan çalışmada, çok yaygın bir yapı malzemesi olan mermerin taş ocakçılığı, işlenmesi ve cilalanması işlemleri sırasında yoğun miktarda atık oluşturduğu, farklı alanlara kontrolsüzce boşaltılan ve gözetimsiz bırakılan bu atıkların tehlikeli sorunlara neden olduğuna değinilmiştir. Bu durumun ekonomi ve çevre üzerine olumsuz etkisini gidermek için bazı katma değerlerin geliştirilmesinde kullanımının gerekliliği vurgulanmıştır. Mermer tozunun çeşitli endüstriyel ve inşaat uygulamalarında kullanım potansiyeli bulunduğu belirtilmiştir. Sürdürülebilir bir yapı oluşturmak için çeşitli alanlarda daha ileri araştırmalar ve kullanım önerileri doğrultusunda farklı teknikler kullanılarak özellikleri belirlenen mermer tozunun kullanım potansiyelleri ve uygunluğu belirlenmiştir. Bu doğrultuda çalışmada, mermer atığının kimyasal özelliklerinin belirlenmesi amaçlı karakterizasyon tekniklerinden X-Işını Kırınımı (XRD), X-Işını floresansı (XRF), Termogravimetrik Analiz (TGA) ve Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. Analizler sonucunda çimento, seramik ve tuğla üretiminde, kireç taşının ana malzeme olarak kullanıldığı alanlarda, duvar karoları, içi boş prefabrik blokların üretiminde ve yollarda dolgu malzemesi olarak kullanılabileceği bilgisine ulaşılmıştır.

Li, Huang, Tan, Kwan ve Chen (2019) tarafından yapılan çalışmada dünyada oldukça fazla miktarda oluşan ve ciddi çevre sorunlarına neden olan mermer atıklarının, genellikle beton üretiminde çimento yerine veya agrega ikamesi olarak yeniden kullanıldığı belirtilmiştir. İşlenebilirlik, basınç dayanımı ve mikro yapının test edilmesi amaçlı çimento ikamesi olarak eklenen mermer tozunun üretilen betonun mukavemetini ve mikro yapısını iyileştirdiği sonucuna ulaşılmıştır. Bu sayede çimento kullanım oranının düşeceği, karbon ayak izinde ve bertaraf edilecek atık miktarında azalmaların olacağı öngörülmektedir.

Öztürk'e (2018) göre çimento üretiminde gerekli olan hammaddelerin kalker, kil ve demir cevherinin olduğu, ayrıca bir miktar alçıtaşı ilave edildiği, tüm bu maddelerin maden ocaklarından karşılandığı belirtilmiştir. Doğal kaynakların azalmaması için mermer tozu atıkları, pirit külü, demir çelik sanayisi atığı olan yüksek fırın cürufu, döküm kumu, demir tozu, alçı kırığı, uçucu kül, demir cürufu ve hafriyat toprağı gibi malzemelerin alternatif hammaddelerin çimentonun hammaddelerine belli oranlarda eklenerek üretimde yer alabileceği ifade edilmiştir.

Yazıcıoğlu ve Kara (2018) tarafından yapılan çalışmada atık mermer tozu kullanımının betonun sürdürülebilirlik ölçütlerinden olan dayanıklılığına etkisi ve karbonatlaşma faktörü açısından araştırılması konu edilmiştir. Farklı oranlarda çimento ile ikame edilmiş atık mermer tozu katkılı betonların karbonatlaşma derinliklerinin belirlenmesi amaç edinilmiş, en çok %15 içeren örneklerde beklenen karbonatlaşma görülmüş, mermer tozu miktarı arttıkça karbonatlaşma derinliğinin ve basınç dayanımının arttığı, aşınma dayanımı ve kapilarite katsayısının azaldığı sonucuna ulaşılmıştır. Çevre kirliliğinin önlenmesi amacıyla mermer tozunun beton üretiminde en uygun ikame oranında betonun sürdürülebilirliğini olumlu etkilediği sonucuna varılmıştır.

Demir, Başpınar, Abadan Kahraman ve Ünal (2014) tarafından yapılan çalışmada gaz beton üretiminde mermer işleme tesis atığı mermer tozu kullanılmıştır. Bağlayıcı olarak çimento, harcının genleşerek gözenek oluşumunu sağlamak için alüminyum tozu ve sönmemiş kireç, priz süresini düzenlemek için ham alçı eklenmiştir. Örnekler üzerinde fiziksel ve mekanik

testler yürütülerek uygunlukları değerlendirilmiş, mermer tozu atıklarının gaz beton üretiminde hammadde olarak kullanımının mümkün olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Soydan, Sarı ve Akdeniz (2018) tarafından yapılan çalışmada atık mermer tozlarının elyaf takviyeli çimento matrisli kompozit Fiber Sement (FS) levhaların üretiminde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Levhaların üretiminde ana hammadde olarak çimento, atık mermer tozu, silis kumu ve selüloz kullanılmıştır. Mermer atığının kütlece farklı oranlarda eklenmesi ile en uygun oran belirlenmeye çalışılmıştır. Üretilen numuneler üzerinde yapılan fiziksel ve mekaniksel test sonuçlarına göre atık mermer tozları kullanılarak daha ekonomik olan elyaf takviyeli çimento matrisli kompozit FS panellerin üretilebileceği kanısına varılmıştır.

Aydın ve Egemen (2011) tarafından yapılan çalışmada, farklı oranlarda mermer tozu, çimento, kül ve kimyasal katkı malzemesi kullanılarak yapı malzemesi üretimi ve inşaat sektöründe kullanım olanağı konu edilmiştir. Mermer toz atığı ile hazırlanan kompozitlere fiziksel, mekanik ve dayanıklılık testleri uygulanmış ve sonucunda, inşaat sektöründe tuğla, kiremit, parke, büz ve briket gibi yapı malzemesi üretiminde kullanılabileceği ortaya çıkmıştır.

Kürklü, Görhan ve Boğa (2018) tarafından yapılan çalışmada mermer tozunun seramik yapıştırma harcı üretiminde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Mermer tozunun, yapışmada çekme dayanımına olan etkisi ve optimum kullanım oranının belirlenmesi amaçlı, kimyasal analizi için XRF, tane boyut içinse lazer tane boyut analizi yöntemi kullanılmıştır. Mermer tozu çimento ve kuma %30-%60 arasında farklı oranlarda ikame edilmiştir. Seramik yapıştırma harcının 7 ve 28 günlük eğilme, basınç ve yapışmada çekme dayanımları ile fiziksel özelliklerinden görünen porozite, görünür yoğunluk ve birim hacim ağırlık değerleri incelenmiştir. Sonuç olarak, mermer tozunun çimento ve kuma %30 ikamesinin en iyi sonucu verdiği tespit edilmiştir.

Alyamaç ve İnce (2007) tarafından yapılan çalışmada, mermer çamurundan kaynaklanan çevre kirliliğinin önlenmesi ve daha ekonomik beton döşeme kaplama plakları üretilmesi amaçlı farklı mermer tozlarının, iki tabakalı karolarda kullanılabilirliğinin araştırılması konu edilmiştir. Mermer çamuru bu

amaçla ön işlemlere tabi tutulmuş, önce kurutulmuş, sonra mekanik yolla ezilerek toz haline getirilmiştir. Çimentoya %10 oranında mermer tozu ikame edildiğinde en yüksek dayanıma ulaşılmıştır. Mermer tozunun, karo üretiminde kullanılmasının, dayanım, görünüş ve maliyet bakımında faydalı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Çitoğlu ve Bayraktar (2018) tarafından yapılan çalışmada, mermer toz atıklarının, inşaat sektöründe beton ve asfalt karışımlarında, yol zemini ve baraj inşaatlarında dolgu malzemesi şeklinde kullanılabilirliğinin endüstriyel açıdan kazanç olduğu kadar çevresel açıdan da bir sorunun giderilmesi için oldukça önemli olduğu vurgulanmıştır.

Öntürk, Fırat, Vural ve Khatib (2014) tarafından yapılan çalışmada, uçucu kül ve mermer tozu atıklarının inşaat sektöründe yapı temel tabakalarına stabilizasyonundaki basınç dayanımı ve rijitlikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Bu atık malzemelerin otoyol alt temel yapısında değerlendirilmesi için doğal zemine farklı oranlarda ilave edilerek, kür süresine tabi tutulduğu, sonrasında standart kompaksiyon değerleri ile kaliforniya taşıma oranı (CBR) değerlerinin belirlendiği görülmüştür. CBR değerlerinde artışa istinaden mermer tozunun bu şekilde kullanımının uygun olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Akpınar ve Evcin (2019) tarafından yapılan çalışmada, mermer tozunun içeriği nedeniyle plastik, kauçuk ve boya gibi endüstrilerde dolgu maddesi olarak kullanılabildiği ve ürünlere çeşitli özellikler kazandırdığı belirtilmiştir. Mermer atıklarının dolgu maddesi olarak kullanılabilmesi için yüksek seviyede hidrofobiklik ve beyazlık özellikli olması ayrıca öğütme benzeri ön işleme tabi tutulması gerektiğine değinilmiştir. Bu işlemler olmadan genellikle plastik endüstrisi gibi alanlarda doğrudan kullanımının mümkün olmadığı belirtilmiştir.

Bilgin (2010) tarafından yapılan çalışmada, mermer tozunun yapı endüstrisinde değerlendirilmesi konusu araştırılmıştır. Bu amaçla çalışmada üç ayrı bölgeden alınan atık tozlar, karo ve tuğla üretiminde kullanılmış, karakterizasyon testlerine tabi tutulmuştur. Sonuçlar mermer atıklarının %20 oranında reçine ile karıştırılarak en iyi özellikli karonun üretilebildiği ve tuğla harcı içerisinde %50'ye dek kullanımının mümkün olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Erdem ve Öztürk (2012) tarafından yapılan çalışmada, mermer tozunun belirli oranlarda çimento üretimine katılması halinde üretilen yeni ürünün donma-çözünme ve dayanıklılık özellikleri araştırılmıştır. Mermer tozu, üretimde farklı oranlarda çimento yerine kullanılmış ve oluşan ürünün mekanik özellikleri incelenmiştir. Çalışma sonucunda, mermer tozunun dayanım üzerinde olumlu etkisinin olduğu, harç ve beton üretiminde belli oranlarda bağlayıcı malzeme olarak kullanımının mümkün olduğu bilgilerine ulaşılmıştır.

Zorluer ve Gücek (2019) tarafından yapılan çalışmada, şişme potansiyeline sahip zeminlerin mühendislik yapılarında ciddi hasarlar oluşturması konusundan yola çıkılmış, zeminler üzerine inşa edilecek hasarların ortadan kaldırılması için gerekli mühendislik önlemleri araştırılmıştır. Çalışma için zemin ana malzemesi olan kile, farklı oranlarda mermer tozu karıştırılarak optimum değerin belirlenmesi hedeflenmiştir. Şişme deneyleri uygulanarak karışımların özellikleri incelenmiştir. Hazırlanan karışımlarda mermer tozu oranı arttıkça şişme yüzdesi azaldığından bu alanda kullanımının mümkün olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Filiz, Özel, Soykan ve Ekiz (2010) tarafından yapılan çalışmada, mermer tozu kullanımı ile karo ve parkelerin, mekanik ve fiziksel özelliklerinin iyileştirildiği sonucuna varılmıştır. Kum ve çakıl ile %20 oranında yer değiştirilen mermer tozunun, karo ve parkelerin basınç dayanımı yaklaşık olarak %32 çekme dayanımının %14 ve elastisite modülü değerlerinin %15 arttırdığı, su emme, aşınma kaybı ve donma sonrası çözülme mukavemet değerlerinin sırasıyla %26, %8 ve %88 oranlarına dek azaltılabildiği görülmüştür.

Atabey (2020) tarafından yapılan çalışmada, endüstriyel atıklardan olan mermer tozu, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu atıklarının köpük beton bloklarının üretiminde hammadde olarak kullanımı konu edilmiştir. Deneylerde kullanılan mermer tozunun ince tane boyutuna sahip olduğu, bu nedenle kırma ve öğütme işlemlerine gerek duyulmadığı, ancak eleme işleminin zorunlu olduğu belirtilmiştir. Ulaşılan sonuçlara göre bu yeni ürünün

ticari gaz betonlarla benzerlik gösterdiği, rötre ve basınç dayanım değerleri bakımından uygun olduğu ifade edilmiştir.

Büyüksağiş, Çetintaş, Uygunoğlu ve Işıtır (2016) tarafından yapılan çalışmada, derz dolgu harçlarının içerisinde farklı oranlarda mermer tozu katkısının kullanılabilirliği araştırılmıştır. Uygulanan testlerle harçlar üzerinde basınç ve eğilme dayanımı, birim ağırlık, porozite, su emme ve kapilerite özelikleri belirlenmiştir. Sonucunda atık mermer tozunun derz dolgu harcında kullanımı halinde harcın bazı fiziksel ve mekanik özeliklerinde azalma olmasına karşılık su emme özelliğine karşı tedbir alınması halinde seramik dolgu harcı için en uygun %10 oranında atık mermer tozunun kullanımının mümkün olduğuna ulaşılmıştır.

Aydın (2013) tarafından yapılan çalışmada, mermer tozu atıklarının beton üretiminde değerlendirilmesi amaçlı ince agrega olarak betonda kullanılabilirliği araştırılmıştır. Deneylerde mermer tozu ile, kum ve ince agrega ağırlıkça farklı oranlarda yer değiştirilmiştir. Kum ile yer değiştirilerek kullanıldığında %50'ye dek, ince agrega ile yer değiştirilerek kullanımı halinde %90 oranına kadar eklenmesinin betona dayanım ve işlenebilirlik bakımından olumlu özellikler kattığı sonucuna ulaşılmıştır.

Sofuoğlu, Ordu, Aykaç ve Çelikbaş (2013) tarafından yapılan çalışmada mermer tozunun ahşap üst yüzey işlemlerine etkisi parlaklık ve pürüzlülük açısından değerlendirilmiştir. Çalışmada katkı maddesi olarak kullanılan mermer tozu üst yüzey işlem malzemeleri olarak kullanılan sentetik vernik, selülozik vernik ve selülozik boyalardan alınan numunelerin içerisine farklı oranlarda eklenmiş, uygulama sonucu mermer tozu kullanımının uygun olduğu belirtilmiştir.

Okubay, Kök, Yardım ve Yılmaz (2018)'ın yaptığı çalışmada, mermer tozunun bitümlü sıcak karışım (BSK)'larda kullanılabilirliği ve nem hassasiyeti üzerindeki etkileri konu edilmiştir. Yapılan testlerle, Marshall stabilitesi bakımından standardın gerektirdiği minimum değerin fazlasıyla karşılandığı, çekme mukavemeti bakımından iyi sonuçlara ulaşıldığı, dolayısıyla mermer tozunun BSK'larda kullanımının uygun olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Ertuğrul'un (2018) yaptığı çalışmada mermer atıklarının farklı bir kullanım alanı olan baca gazından kükürdün giderilmesinde kullanımı araştırılmıştır. Elektrik enerjisi üretiminin mevcut düzende kömür santrallerinden karşılandığı, bu tesislerin çevresel etkilerinin azaltılması için baca filtre verimin arttırılması için santralden çıkan kül ve cürufun üzerlerinin kapatılması gibi önlemler gerektiği belirtilmiştir. Bu kapsamda mermer atıklarının yeniden değerlendirilerek atık yönetimine katkı sunması önemli bulunmuştur.

Timur ve Kılıç (2013) tarafından yapılan çalışmada, mermer toz atıklarının otomotiv sektöründe kullanım potansiyeli konu edilmiştir. Sektörde araç frenlerinde kullanılan balataların çok sayıda maddenin bileşiminden yapıldığı, üretimde gerekli temel özelliklerin, standartlara uygun aşınma direnci, sürtünme katsayısı olduğu belirtilmiştir. Fren sırasında sürtünme nedeniyle balataların aşırı ısındığı, bu nedenle balataların frenleme performansının değiştiği ve deforme olduğu belirtilmiştir. Çalışmada, mermer artıkları ön işleme tabi tutulmuş, öğütülerek toz haline getirilmiş, katkı maddelerinin de eklenmesiyle yeni içerikli fren balataları üretilmiştir. Üretilen fren balatalarının sürtünme performansları farklı firmaların balataları ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Mermer tozunun frenleme performansına etkisi belirlenmesi amaçlı yapılan bu çalışma sonucunda mermer tozunun frenleme performansında olumlu etki yarattığı bilgisine ulaşılmıştır.

Alagöz ve Şahin (2020) tarafından yapılan çalışmada, mermer tozu katalizörlüğünde haşhaş yağı ve metanolden, transesterifikasyon tepkimesi ile biyodizel üretimi araştırılmıştır. Mermer tozlarının 850°C'de 3 saat süresince kalsinasyonu ile hazırlanmış, XRD ve SEM yöntemleri ile karakterize edilmiştir. Biyodizelin yakıt özelikleri TS EN 14214 standardı ile karşılaştırılarak belirlenmiş ve dizel yakıt ile karıştırılması halinde kullanımının mümkün olacağı öngörülmüştür.

Taşpolat ve Zorluer (2009) tarafından yapılan çalışmada, mermer toz atıklarının dolgu tabakası tasarımında kil ile birlikte kullanılmaya başlandığı, geçirimsizlik, mukavemet, ağır metal emilimi gibi özelliklerini arttırdığı olumlu etkileri olduğu belirtilmiştir. Çalışmada atık mermer tozu, çöp sahası astarında katkı maddesi olarak kullanılarak, kaolinit bentonit karışımları atık

mermer tozu ile karıştırılarak depolama astarı tasarımı yapılmıştır. Bu işlem için mermer tozu farklı oranlarda kullanılmış ve donma-çözülme testleri uygulanmıştır. Sonucunda atık mermer tozunun, donma ve çözülme koşullarında astarın gücünü arttırdığı belirtilmiştir.

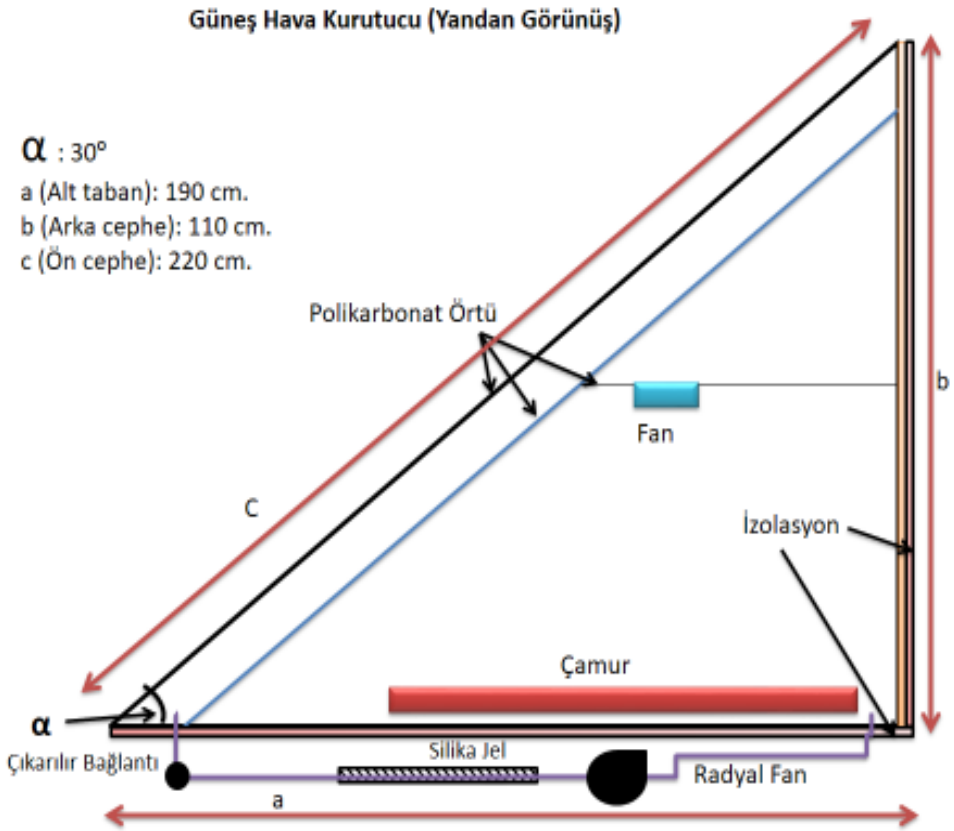
Çinar (2016) tarafından yapılan çalışmada, PET (polietilen tereftalat) şişeler ve mermer tozu kullanılarak kompozit malzemelerin üretimi durumu araştırılmıştır. Yapılan testler sayesinde bu atıkların neden olduğu kirliliğin azaltılıp, mermer tozunun düşük maliyetli, yanmaz ve yüksek mekanik özellikleri, PET özellikleri ile birleşerek daha yüksek özelliklere sahip ancak daha düşük maliyetli yeni bir malzemenin üretilmesinin mümkün olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1.1. Tasarlanan Prototip

Güneş hava ısıtıcılı sistem ile mermer çamurunun kurutma performansının belirlenmesi amaçlı prototip tasarlanmıştır. Güneş hava ısıtıcılı sistem benzeri prototipin tasarımı üçgen prizma şeklinde olup, 220 cm'lik ön cephe, 190 cm'lik alt taban ve 110 cm'lik arka cephe 30^{o} 'lik açıyla birleştirilmiştir. 30^{o} 'lik eğim yıl boyunca, güneş radyasyonundan maksimum verim alınması için belirlenen değerdir. Prototip güneş ışınlarının geliş açısı dikkate alınarak güneye bakacak şekilde Bursa Uludağ Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü dış alanında konumlandırılmıştır.

Prototipe ait tasarım şeması Şekil 3.1.1'de ve prototipin gerçek görüntüsüne dair görsellere Şekil 3.1.2'de yer verilmiştir. Dış cephe için %70 UV geçirgenliğine sahip, çift kat oluklu, tek hava bölmeli 10 mm şeffaf polikarbon levha kullanmıştır. Sistem içine dönme hızı 1900 rpm olan ve 120 mm 220-240 V/50 – 60 Hertz frekanslı, 120 m^3/sa debili, 15 W gücünde fan, 12 W gücünde radyal fan ve VCK Vaillant fan motoru kurularak sistem içi hava akımı kontrol edilmiştir. Prototipe mermer çamuru numunelerinin yüklenmesi amaçlı arka cepheye kapak yapılmış ve iç ortam şartlarının korunumu için etrafı izolasyon malzemesi (köpük vb.) ile sarılmıştır.



Şekil 3.1.1. Prototip Şeması



Şekil 3.1.2. Prototipin gerçek görüntüsü

Şeffaf polikarbon örtüler, giriş açıklığından nemli hava veya yağmur suyunun sızması gibi kötü ortam şartlarını önlemek için çelik çerçeve desteği ve cıvata somunlu sütunlar ile sızdırmaz hale getirilmiştir.

Güneş radyasyonu emilimini arttırmak için çift polikarbon örtü dönem dönem tek kata düşürmeye elverişli şekilde monte edilmiştir.

Taban ve sistem giriş kapısı için PVC malzeme kullanılmış olup etrafına yalıtım ve sızdırmazlık sağlaması amaçlı poliüretan yerleştirilmiştir.

Sistem içi bir plaka ile bölünerek şaşırtmalı hava sağlayacak şekilde iç havanın uzun süreli sistem içinde kalması sağlanmıştır.

3.1.2. Laboratuvar Ekipmanları

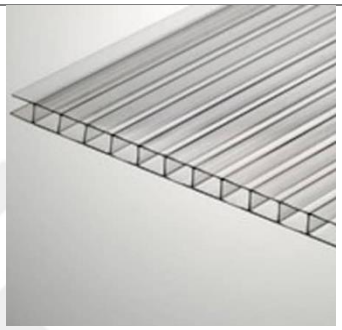
Deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere prototip iç ortam nem ve sıcaklık değerlerinin belirlenmesinde COMET S3120, dış ortam nem, sıcaklık, radyasyon değerleri ve mermer çamuru için hazırlanan numunelerinin sıcaklık ölçümünde HOBO U12-008 cihazından faydalanılmıştır. Cihazlar, 15 dakikada bir nem, sıcaklık ve radyasyon değerleri okunacak şekilde ayarlanmıştır. Çamur numunelerinin nem tayini analizleri TS ISO 11465 standart metoduna göre Binder ED 115 model etüv ile yapılmıştır. Analiz sonuç değerlerinin teyit edilmesi amaçlı kısa sürede sonuç veren Sartorious MA 150 nem tayin cihazından faydalanılmıştır. Ağırlık (kayıp) tayinleri için Ohaus Pioneer PA214C hassas terazi ve Dikomsan JS – BH 30 terazi kullanılmıştır. Cem Dt-185 solar güç kayıt cihazı iç ortam güneş radyasyon değerlerinin belirlenmesi amaçlı kullanılmıştır.

Prototip, kapalı ve açık devre olarak iki farklı şekilde kullanılmıştır. Kapalı devredeyken prototipe silika jel eklenerek iç ortam nemi kontrol altına alınmıştır. Prototip açık devre olarak kullanıldığında ise dış ortam şartlarının kurutma performansına etkisi incelenmiştir. Özellikle farklı hava koşullarında deneysel çalışmalar yapılarak iklim koşullarının prototip verimine etkisi incelenmiştir. Çamur örnekleri, ısı transfer katsayısı fazla olan alüminyum materyalden üretilmiş, 60 cm x 40 cm x 5 cm ölçülerine sahip tepsilerle prototipe yüklenmiştir. Mermer çamurunun özelliklerinin belirlemesi amaçlı çeşitli parametreler incelenmiştir. Çalışma amacı doğrultusunda çamur örneklerine TS EN ISO 11465 standart

metoduna göre, kuru madde ve nem (%) belirlenmiştir. Kuruma sonrası performanslarının değerlendirilmesi amaçlı aynı parametreler tüm analizler için tekrardan incelenmiştir.

Prototip içinde ve analizlerin gerçekleştiği laboratuvarda kullanılan ekipman ve malzemelere ilişkin Çizelge 3.1.2.'de yer verilmiştir.

Çizelge 3.1.2. Deney ekipmanları ve malzemeleri

Ekipman/Malzeme	Özellik	Görsel
Şeffaf polikarbon levha 10mm, %70 UV geçirgenliğine sahip	Güneş radyasyonundan maksimum verim alınması amaçlı dış cephe için çift kat oluklu, tek hava bölmeli şeffaf polikarbon levha kullanmıştır.	
Comet (S3120) ölçüm cihazı	İç ortam nem ve sıcaklık değerlerinin belirlenmesinde kullanılmıştır	
CEM (DT 185) solar güç kayıt cihazı	İç ortam güneş radyasyon değerlerinin belirlenmesi amaçlı kullanılmıştır	
HOBO data logger (RX2100, onset) ölçüm cihazı	Dış ortam nem, sıcaklık, radyasyon değerlerinin belirlenmesinde kullanılmıştır	

Çizelge 3.1.2. Deney ekipmanları ve malzemeleri (Devam)

Binder ED 115 Etüv	Çamur numunelerinin nem tayini analizleri TS ISO 11465 standart metoduna göre yapılması amaçlı kullanılmıştır.	
Sartorius MA150 nem tayin cihaz	Analiz sonuçlarının teyit edilmesi amaçlı, standart metoda göre daha kısa sürede sonuç veren nem ölçer kullanılmıştır.	
Ohaus Pioneer PA214C hassas terazi	Ağırlık (kayıp) tayinleri için kullanılmıştır. *minimal numunelerin analizi için kullanılmıştır.	
Dikomsan JS – BH 30	Kurutma performansı nem kaybı ağırlık farkından da ayrıca hesaplandığından ağırlık tayinleri için kullanılmıştır. *numune tepsisi toplam ağırlık tayini için kullanılmıştır.	
Mutlusan Fan 12W, 220-240V/50-60Hz 100m^3/sa, 2250rpm	Sistem içi hava akımının kontrolü amaçlı pompa kullanılmıştır.	
Vailant VCK Pompa30V,051A	Sistem içi hava akımının kontrolü amaçlı pompa kullanılmıştır.	

Çizelge 3.1.2. Deney ekipmanları ve malzemeleri (Devam)

Kurutma Tepsisi	Numunelerin sisteme yüklenmesi amaçlı, ısı transfer katsayısı fazla olan alüminyum materyalden üretilmiş, 60 cm x 40 cm x 5 cm ölçülerine sahip tepsiler kullanılmıştır**.**	
Silika Jel	Yağışlı hava şartlarında kapalı devre olarak çalıştırılan sistemde numunenin kuruması sırasında oluşan su buharının ortamdan uzaklaştırılması / nemin tutulması amacıyla kullanılmıştır	

3.1.3. Mermer Çamurunun Özellikleri

Laboratuvar çalışmalarında kullanılmak için Bursa ilinde bulunan mermer işleme tesisinden alınan mermer çamuru kullanılmıştır. Çalışmada deneysel veriler sonucunda mermer çamurunun nem oranı, iklim şartlarına, atığın temin edildiği tesis durumuna, taşınma ve saklama şartlarına göre değişkenlik göstermekle birlikte ortalama %76 oranında katı madde değerinde belirlenmiştir.

Mermer çamurunun kimyasal ve fiziksel özelliklerine ilişkin literatür çalışması kapsamında kaynak araştırması yapılmış olup, içeriğinin önemli bir kısmının kalsiyum oksit ve magnezyum oksitten oluştuğu, düşük oranda grafit kuvars, sist, çakmaktaşı, silisli, limonit ve kantaşı bulunduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Öztürk (2018) tarafından yapılan çalışmada yer alan verilere göre Çizelge 3.1.3'te mermer çamurunun kimyasal ve fiziksel özelliklerine yer verilmiştir.

Çizelge 3.1.3. Mermer çamurunun özellikleri

A) Mermer çamurunun kimyasal özellikleri

Parametre	**Test Değeri (%)**
MgO	4,47
CaO	49.07
Fe_2O_3	0.21 – 1.3
Al_2O_3	1.04 – 1.3
SiO_2	1,69
Na_2CO_3	0.01'den az
CO_2	38.6
Potas	0.01'den az
Tutuşma Kaybı	40.6

B) Mermer çamurunun fiziksel özellikleri

Parametre	**Test Değeri**
Nem (%)	24
Özgül Ağırlık	2.83 – 2.87
Partikül Boyut Dağılımı (µm)	45 – 300
Kütle Yoğunluk (g/cc)	1,3 – 1,5
Gerçek Yoğunluk (g/cc)	3,6
Partikül	365 µm'den küçük
Yüzey Alanı	6,7

3.1.4. Deneysel Tasarım

Çalışma; mermer sektöründe yönetimi ve bertarafında sorunlara neden olan mermer çamurunun yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisi ile geri kazanımına ilişkindir. Güneş enerjisinden yararlanılacak şekilde tasarlanan, literatürde Güneş Hava Isıtıcılı Sistemler olarak bilinenlerin benzeri nitelikteki prototiple mermer çamurların yönetimini zorlaştıran nedenlerin başında gelen yüksek nem içeriğinin düşürülmesi amaçlanmıştır. Ana enerji kaynağı Güneş Enerjisidir, bunun yanında sistem içi hava akışının sağlanması amaçlı elektrikle çalışan fan ve pompa kullanılmıştır. Sistem hibrit tipte Güneş Hava Isıtıcısı özelliği taşımaktadır. Sistem

performansının belirlenmesi amaçlı farklı mevsimsel şartlarda deneyler planlanmıştır. Özellikle nem oranın yüksek, yağışların fazla olduğu bahar, kuru hava ve yüksek sıcaklık değerlerinin hakim olduğu yaz ve diğer iki dönem özelliklerini birlikte görüldüğü güz olmak üzere üç farklı dönemde planlanan deneyler, her bir dönem için 20 tekrarlı olacak şekilde toplam 60 adet yapılacak şekilde tasarlanmıştır. Mevsimsel şartlar doğrultusunda farklı sıcaklık, nem değerlerinde sistem performansı incelenmesi amaçlanmıştır. Bahar ve yaz dönemlerinde yapılan deneylerde sisteme yüklenen atık miktarı sabit ve 1 kg'dır. Güz döneminde yükleme miktarı ve sistem üzerinde yapılan çeşitli modifikasyonlarla sistem veriminin farklı parametrelerce değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Yapılan her değişiklik, standart dışında üç farklı uygulama için 5 tekrarlı deney toplamda 15 deney yapılmıştır. Güz döneminde, diğer dönemlerdeki gibi 20 tekrarlı olacak şekilde yapılan deneylere ek prototip üzerinde yapılan değişiklikler nedeniyle 15 fazladan deneyle toplam deney sayısı 35'e çıkarılmıştır.

Prototip üzerinde yapılan değişikliklerden ilki sistem dış cephe örtüsüyle ilgilidir. Tasarlanan ilk prototipte Güneş radyasyon geçirgenliği %70 olan polikarbon örtü çift kattır. Dış cephe örtüsünün tek kata düşürülmesi halinde sisteme etkisinin belirlenmesi amaçlanmış ve ikinci katman sökülmüştür. Prototip üzerinde yapılan değişiklikler/modifikasyonlar haricinde incelenen numunenin sisteme yüklenen miktarı ve şeklinde değişikliklere (öğütme&karıştırma) gidilerek bu uygulamaların sistem performansına dolayısıyla kuruma verimine etkisi değerlendirilmiştir.

Yapılan değişikliklere ek tasarlanan prototipin hibrit özellikli olması nedeniyle sistem içi fan çalıştırılmadan elektrik enerjisinden bağımsız olarak konvansiyonel olarak çalıştırılması ile sera etkisi olarak tanımlanabilen özelliğin kuruma performansına etkisi belirlenmiştir.

Çizelge 3.1.4'te laboratuvar çalışmalarına ait deney tasarımına yer verilmiştir.

Çizelge 3.1.4. Deney tasarımı

Parametre	Bahar Dönemi	Yaz Dönemi	Güz Dönemi
Çift Kat Örtü	✓	✓	✓
Tek Kat Örtü			✓
Karıştırmasız	✓	✓	✓
Karıştırmalı			✓
Sera Etkisi			✓
1 kg Yükleme	✓	✓	✓
3 kg Yükleme			✓
Deney Sayısı	20	20	35
Toplam	75 deney		

3.2. Tam Ölçekli Projelendirme için Maliyet Yaklaşımı

Laboratuvar çalışmaları ile performans değerlendirilmesi yapılan prototip sistemin gerçek bir tesiste kullanımı halinde gerekli şartların belirlenmesi amaçlı, mermer çamuru numunelerinin temin edildiği Bursa ilinde yer alan mermer işleme tesisi üzerinden tam ölçekli projelendirme yapılmıştır. Bu kapsamda tesis sahası ziyaret edilmiş, prosesler incelenmiş ve görseller alınmıştır. Mermer ocaklarından hazır gelen mermer blokların istenilen ölçülerde kesim ve cilalama işlemlerinin gerçekleştiği tesiste, kesim makinelerinin su ile kullanımı sırasında sulu mermer tozu-mermer çamurunun oluştuğu gözlemlenmiş, tesis sahası içinde gelişigüzel depolandığı görülmüştür. Tesis işletmecesi tarafından, bu atıkların bir süre tesis dış sahasında bekletildiği, büyük yığınlar oluştuktan sonra dış alan kullanımını kısıtladığından hafriyat alanlarına gönderilerek bertaraf edildiği bilgisi alınmıştır.

Prototipin gerçek bir tesiste kullanımı halinde tam ölçekli projelendirme için gerekli parametreler öncelikle tesis için üretimde günlük oluşan mermer çamuru miktarı baz alınarak yapılmıştır. Söz konusu tesiste günlük yaklaşık 1 ton mermer çamuru oluştuğu bilinmektedir.

Başlangıçta prototipin tasarım esasları dikkate alınmış ancak atık miktarının yüksek oluşu yükleme sorununu ortaya çıkarmıştır. Prototip içine yükleme tepsileri

kullanıldığından tam ölçekli projelendirmede yüklemenin tepsilerle yapılamayacağından kazıcı-yükleyici iş makineleri ile yapılması uygun bulunmuştur. Bu nedenle üçgen prizma şeklinde yapılan prototip tam ölçekli projelendirmede, işletme kolaylığı bakımından dikdörtgen olacak şekilde tasarlanmıştır. Laboratuvar çalışmaları sonucunda elde edilen bulguların değerlendirilmesi sonrasında en iyi kurutma performans kriterlerine göre tam ölçekli projelendirme için tasarımlar ve maliyet analizi yapılmıştır. Dış cephe örtüsü, prototipteki gibi UV geçirgenliğe sahip policarbon levha olacak şekilde belirlenmiştir. Gerçek bir tesis için yeniden tasarlanan bu sistemin alt taban yapısı betonarme olacak şekilde tasarlanmış, dış cephe örtüsünün kaplanması amaçlı çelik kafes sistemi ile sabitleme uygulamasının gerekli olduğu düşünülmüştür. Sistem içinde kullanılacak ekipmanlar yeni alan ölçülerine uygun olacak şekilde belirlenmiştir. Alan ve atık verileri doğrultusunda yeterli kapasitede havalandırma ekipmanları/fan araştırılmıştır.

Maliyet analizinde gerekli ekipman ve malzemelerin güncel fiyatları araştırılmış ve para birimi olarak Euro (€) üzerinden hesaplamalara gidilmiştir.

Tam ölçekli projelendirme amaçlı belirlenen tasarım parametrelerine uygun olarak sistemin üç boyutlu modellemesi için SketchUp yazılımı kullanılmış, ilgili görseller Şekil 4.2.1, Şekil 4.2.2 ve Şekil 4.2.3'te verilmiştir.

3.3. Sektör Temsilcileriyle Yapılan Görüşmeler

Laboratuvar çalışmalarında analiz için kullanılan mermer çamurunun temini ve çalışma konusu sistemin gerçek bir tesiste kullanımı çalışmalarında mermer işleme tesisi ziyaret edilmiştir. Sonrasında mermer sektöründe atık yönetimin değerlendirilmesi amaçlı farklı işletmeler yerinde incelenmiştir. Tez konusu mermer çamuru ve toz atıklarının değerlendirilme potansiyeli bulunan diğer sektörlere ait işletmeler de ayrıca ziyaret edilmiştir. Bu ziyaretlerde, sektör temsilcileriyle yapılan görüşmeler için form oluşturulmuştur. Mermer sektöründeki işletmeler atık üretici, diğer sektörler atık kullanıcı durumunda olduğundan iki farklı form hazırlanmıştır. Form içeriklerinde firmaların kişisel verilerin korunumu gereği firma adı, adresi, görüşme yapılan kişi ve iletişim bilgileri dışında genel

bilgileri (çalışan sayısı, kuruluş yılı…vb.) ve üretime ilişkin (ham madde, kullanılan prosesler, üretim miktarı, yan ürün ve atıklar) sorulara yer verilmiştir. Ayrıca sektörde yaşanan sıkıntılar ve iyileştirme/çözüm önerileri, mermer yan ürünlerinin ve/veya atıklarının üretimde yeniden kullanım potansiyeline ilişkin görüşlerin alınması amaçlı sorulara yer verilmiştir. Ek 1'de iki farklı görüşme formuna yer verilmiştir.

4. BULGULAR

Bu bölümde sistem performansının değerlendirilmesi amaçlı analizlerin yürütüldüğü laboratuvar çalışmaları, sistemin gerçek bir tesiste kullanımı amaçlı projelendirilmesi ve tez konusu sektörlere ilişkin yapılan görüşmeler olmak üzere üç farklı başlıkta yürütülen saha çalışmalarına ilişkin bulgulara yer verilmiştir.

4.1. Laboratuvar Çalışmasına İlişkin Bulgular

Laboratuvar çalışmaları kapsamında gerçekleştirilen analizlerde elde edilen veriler grafikler halinde sunulmuştur. Analizlerde her dönem için incelenen parametreler arasında çamur başlangıç ve sistemde kurutma işlemi sonrası ulaşılan son nemi incelenerek kuruma oranı hesaplanmıştır. Bu bulgular, sistem içinde kullanılan, yükleme tepsisinin altına yerleştirilen hassas terazi ile ağırlık kayıpları dikkate alınarak analiz sırasında belirlenmiştir. Deneyler süresince belirli zamanlarda yükleme tepsisinden alınan yaklaşık 5 gramlık numunelerle nem tayin cihazı kullanılarak çamur kuruma oranı belirlenmiştir. Bu şekilde eş zamanlı farklı yöntemlerin kullanılması ile ulaşılan bulgular teyit edilmiştir. Mermer çamuru, mermer işleme tesisinden alındıktan sonra sistemde kurutulması amaçlı kullanılmak üzere laboratuvar şartlarında 4^{o}C'li dolapta stabil şartlar altında korunmuştur. Mermer çamuru özelliklerine 3. Bölümde yer verilmiştir. Analizlerde genel olarak kuruma ve nem değişimi için hedeflenen kriter, ortalama %24 nem oranına sahip mermer çamurunun sisteme yüklenip nem oranı %1'in altına düştükten sonra, kuruma performansı verimli bulunmuş ve sistem durdurulmuştur. Kuruma performansını değerlendirilmesinde, nem oranının düşürülmesinde etkili olan diğer parametrelerden biri olan güneş radyasyonu ile ilgilidir. İç ortam radyasyon değerini 15 dakikada bir ölçen cihazla elde edilen veriler eşliğinde saatlik ortalama radyasyon değeri belirlenmiş, toplam kuruma süresi ve yüklenen numune alanı baz alınarak kümülatif radyasyon değeri hesaplanmıştır. İç ortam sıcaklık ölçümleri yapılmış, dış ortam sıcaklık şartları ile iç ortam sıcaklıkları karşılaştırılmış, sistemin çalıştırıldığı süre boyunca ulaşılan sıcaklık değerleri incelenmiş ve her yükleme için ortalama iç ortam sıcaklık değerleri hesaplanmıştır. Sistem içinde kullanılan pompa ve fan ekipmanlarının çalışması için gerekli elektrik enerjisinin kullanımı elektrik sayacı üzerinden takip edilmiş, sistemin

çalıştırıldığı süre boyunca harcanan toplam enerji kuruma süresine (saat) oranlanarak saatlik enerji (elektrik) ihtiyacı verisine ulaşılmıştır.

Güz döneminde diğer iki dönemde kuruma performansına etki eden parametrelerden farklı olarak, sistem üzerinde yapılan modifikasyonlara bağlı çeşitli parametreler değerlendirilmiştir. Son kısımda en iyi kuruma performansına gerçekleştiği şartların belirlenmesi ve sistemin yıllık performansının değerlendirilmesi amacıyla tüm analiz bulgularına ait veriler bir arada sunulmuştur.

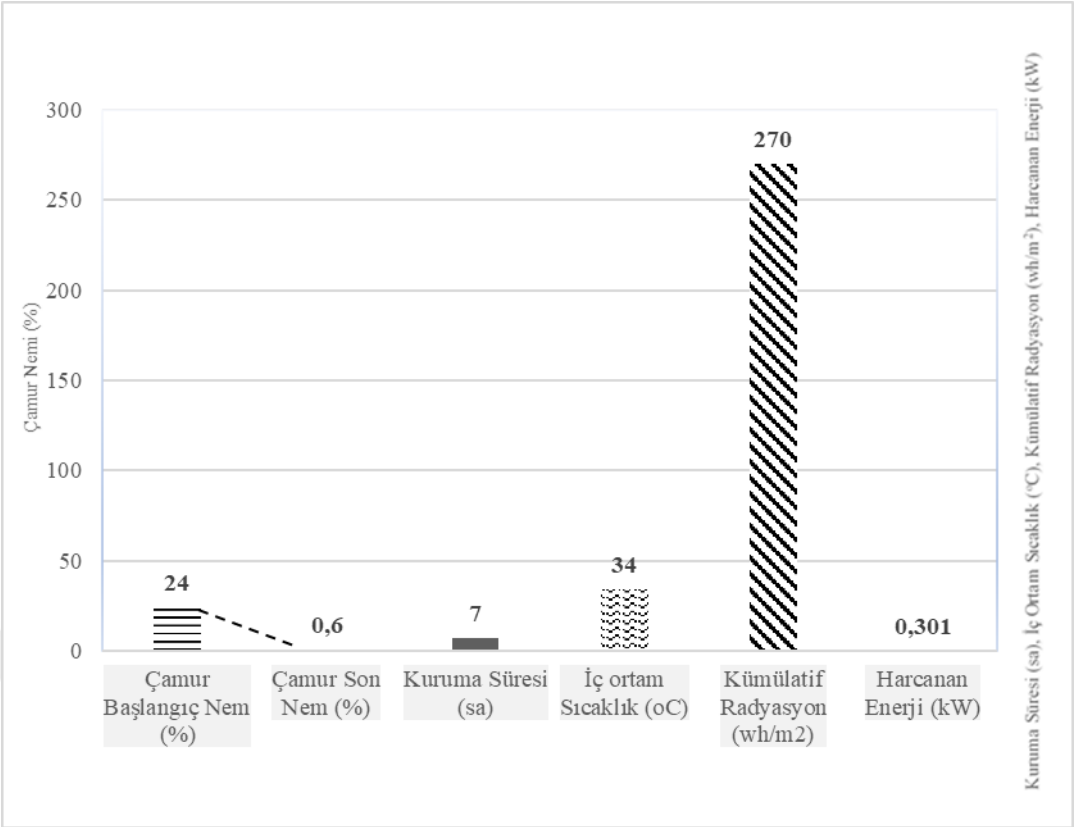
4.1.1. Bahar Dönemi Analizleri

- Sistem bahar dönemi kötü hava koşullarında kapalı devre olarak çalıştırılmış ve çamurun kuruması esnasında oluşan su buharının ortamdan uzaklaştırılması ve nemin tutulması için silika jel kullanılmıştır. İstenilen kuruma oranı yakalandığında başta 200 gr olan silika jelin işlemler sonucu 245 gr olduğu, dolayısıyla iç ortam için buharlaşan su miktarının 45 gr olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

- Ağırlıklı olarak kötü hava koşullarında (yağışların yoğun olduğu) yapılan incelemeler sonucunda, saat 9.00 ile 16.00 saatleri arasında toplam 7 saatlik sürenin mermer çamuru için %99 katı madde değerine ulaşmak için gerekli olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Şekil 4.1.1'de verilen grafik yağışlı hava koşullarında nem değişimi, ağırlık kaybı, kümülatif radyasyon değeri ve kuruma süresi gibi parametrelerdeki değişimler ile çamurun kuruma performansın etkisini göstermektedir.

- Sistemde ana enerji kaynağı güneşle birlikte iç ekipman ve cihazlar çalışması için elektrik enerjisinden faydalanılmıştır. Her yükleme için saatte harcanan elektrik enerjisi değerinin ortalama 0,043 kW olduğu tespit edilmiştir. Yağışlı dönem analizlerinde mermer çamurunu kurutulması için tüketilen enerjinin kuruma süresi baz alınarak 0,301 kW olduğu görülmüştür.

- Sistemde ulaşılan en yüksek sıcaklık değerleri, bu dönemde 57 – 76^{o}C arasında değişmiş olup, kuruma süresi boyunca ortalama iç ortam sıcaklığı 34^{o}C'dir.



Şekil 4.1.1. Bahar dönemi analiz bulguları

4.1.2. Yaz Dönemi Analizleri

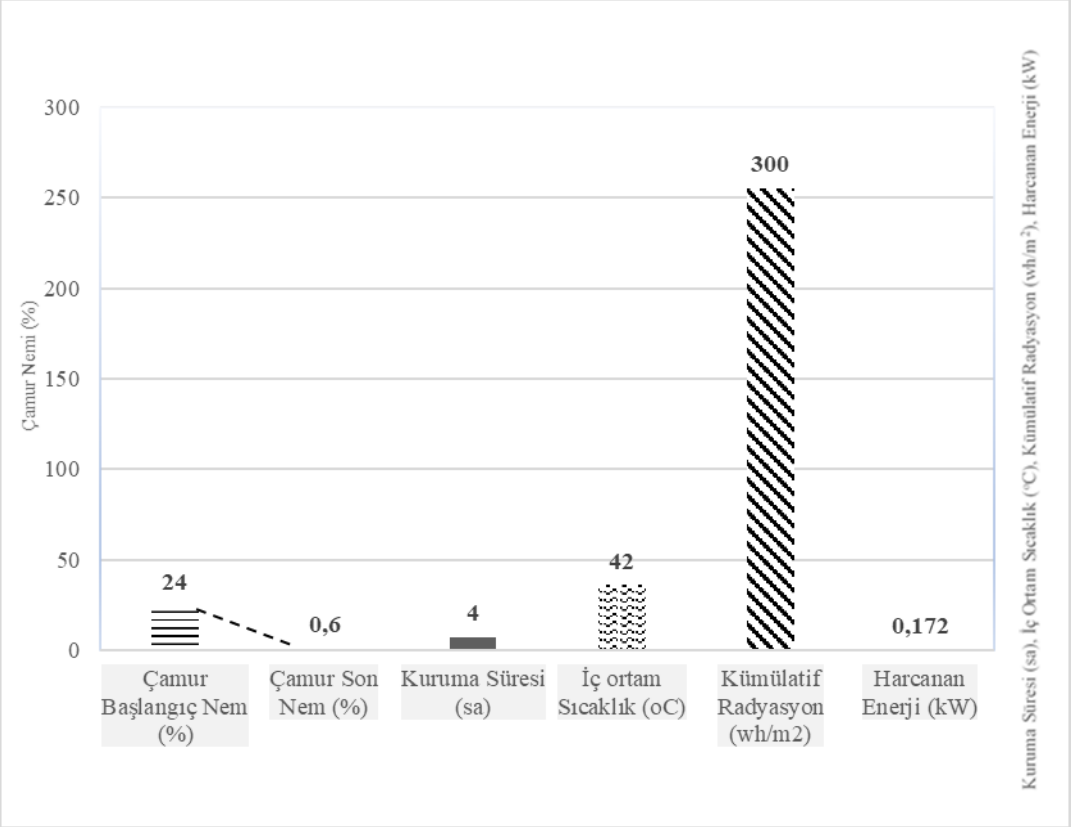
- Sistem yaz dönemi kuru ve sıcak hava koşullarında, kapalı devre olarak çalıştırılmıştır. İç ortam nemi doğal olarak iç ekipmanlar arasındaki fanın havayı sirküle etmesi yeterli olacağı öngörüldüğünden bahar döneminde kullanılan silika jele ihtiyaç duyulmamıştır.

- Kuru ve sıcak hava şartlarının hakim olduğu yaz döneminde radyasyon yoğunluğunun en yüksek olduğu 12.00-16.00 saatleri arasında mermer çamurunun yaklaşık 4 saatte %99 kuruduğu görülmüştür. Şekil 4.1.2'de verilen grafikte kuru – sıcak hava şartlarında nem değişimi, ağırlık kaybı, radyasyon değeri ve kuruma süresi gibi parametrelerdeki değişimler eşliğinde çamurun kuruma performansına etkisi görülmektedir.

- Sistemde ana enerji kaynağı güneşle birlikte iç ekipmanların işleyişi için elektrik enerjisinden faydalanılmıştır. Her yükleme için saatte harcanan elektrik enerjisi miktarı 0,043 kW olduğu tespit edilmiştir. Kuru – sıcak hava şartlarında

gerçekleştirilen yaz dönemi analizlerinde mermer çamuru kurutulması için harcanan enerji kuruma süresi baz alınarak 0,172 kW olduğu görülmüştür.

- Sistem iç ortam sıcaklık değerleri incelendiğinde elde edilen en yüksek sıcaklık değerleri, kuru sıcak hava koşullarında 66 – 88ºC arasında değişmiş olup, kuruma süresi boyunca ortalama iç ortam sıcaklığı 42ºC'dir.



Şekil 4.1.2. Yaz dönemi analiz bulguları

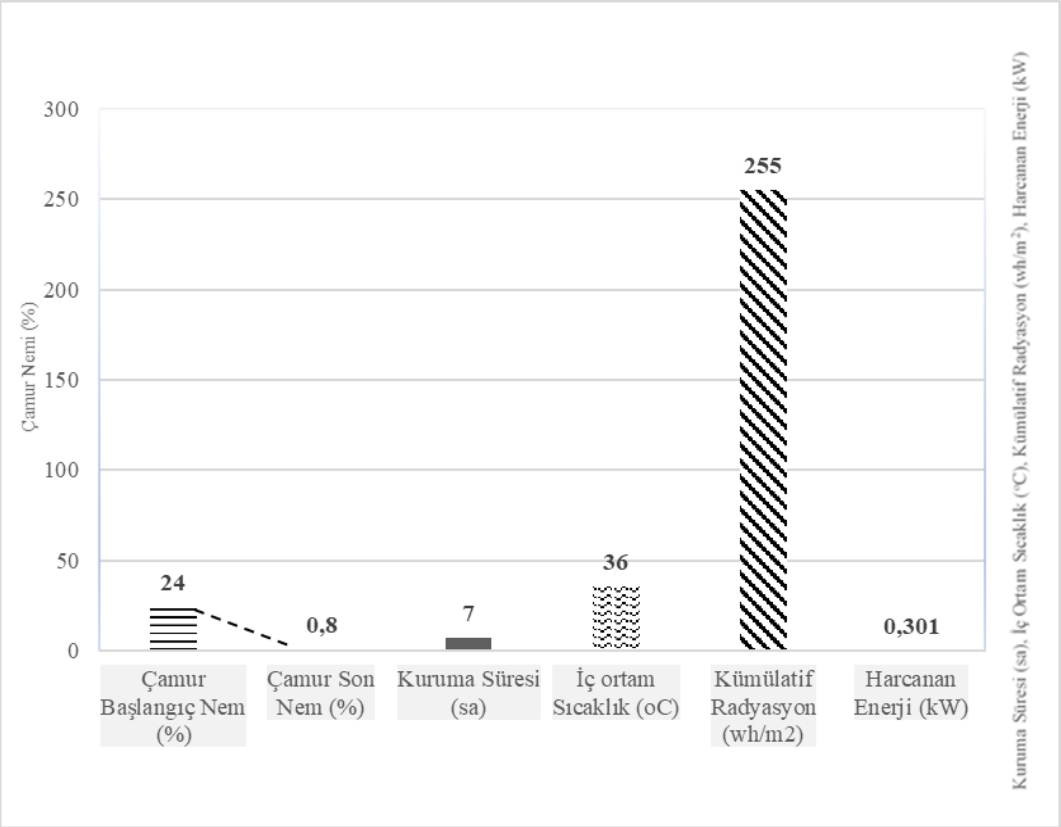
4.1.3. Güz Dönemi Analizleri

- Sistem güz dönemi hava koşullarında kapalı devre olarak çalıştırılmış ve çamurun kuruması esnasında oluşan su buharının yaz döneminde olduğu gibi silika jel kullanılmadan uzaklaştırılması hedeflenmiştir.

- Güz döneminde 7 saatlik sürenin, mermer çamuru için %99'luk katı madde değerine ulaşmak için yeterli olduğu görülmüştür.

- Şekil 4.1.3'te verilen grafik güz dönemi hava koşulları nem değişimi, kuruma süresi ağırlık kaybı ve radyasyon değeri gibi parametrelerdeki değişimler eşliğinde çamurun kuruma performansına etkisini göstermektedir.

- Sistemde ana enerji kaynağı güneşle birlikte prototip içi ekipman ve cihazların çalışması için elektrik enerjisinden faydalanılmıştır. Her yükleme için saatte harcanan elektrik enerjisi miktarı 0,043 kW olduğu tespit edilmiştir. Güz dönemi deneylerinde mermer çamurunun kurutulması için tüketilen enerjisinin kuruma süresi baz alınarak 0,301 kW olduğu tespit edilmiştir.
- Sistemde ulaşılan en yüksek sıcaklık değerleri, bu dönemde 57 – 78^{o}C arasında değişmiş olup, kuruma süresi boyunca ortalama iç ortam sıcaklığı 36^{o}C'dir.



Şekil 4.1.3. Güz dönemi analiz bulguları

Güz döneminde diğer iki dönemde incelenen parametrelerden farklı olarak sistem üzerinde çeşitli modifikasyonlar yapılmıştır. Bu uygulamalardan ilki sistem örtüsü olarak tanımlanan dış cephe için çift kat policarbon levhanın tek kata indirilmesidir. Burada amaç tek kat policarbon örtünün radyasyon geçirgenliğinin çift kata göre daha iyi olması nedeniyle radyasyon yoğunluğunun kuruma performansına etkisinin belirlenmesidir. Uygulamalardan bir diğeri sistemin konvansiyonel olarak çalıştırılmasıdır. Bu uygulama ile sistem iç ekipmanlarından fan kullanılmadığından sistem sera tipi kurutucuya benzetilerek, sera etkisinin kuruma verimi üzerinde performansı incelenmiştir. Sistem modifikasyonları haricinde

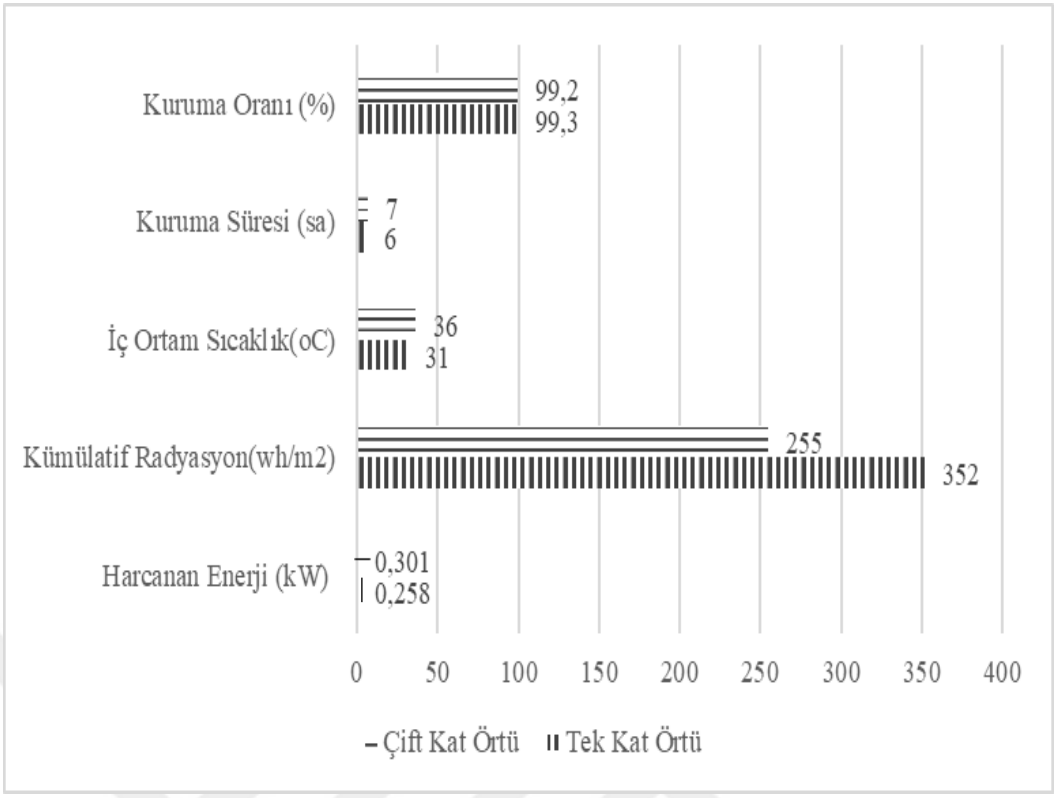
incelenen numunenin sisteme yüklenen miktarı ve şeklinde değişikliklere gidilerek bu uygulamaların sistem performansına ve kuruma verimine etkisi değerlendirilmiştir.

4.1.3.1. Sistem Örtü Performansları

Sistem örtüsü olarak kullanılan %70 UV geçirgenliğine sahip şeffaf policarbon malzeme başlangıçta çift kat olarak tasarlanmıştır. Bahar ve yaz dönemi analizlerinde çift kat örtülü şekilde kullanılan sistem, güz dönemi içinde belirli günlerde sistem örtü performanslarının değerlendirilmesi amacıyla üst örtüsü sökülerek tek kat olacak şekilde kullanılmıştır.

İzolasyon etkisi dikkate alındığında çift kat örtünün sistem içi ısıyı kontrol etmede verimli olduğu, sistemi dış ortamda değişen hava şartlarına karşı sistem ısısını dengede tutmada önemli fayda sağladığı hava sıcaklığı ile sistem içi sıcaklık değerleri incelendiğinde görülmüştür. Ancak izolasyon etkisinin yanı sıra kullanılan örtü malzemesinin özelliğinden kaynaklı %70 UV radyasyon geçirgenliğine izin vermesi ve çift kat kullanılması durumunda güneş radyasyonun %50'sinden faydalanıldığı ve aynı şekilde radyasyonun %50'sinin malzemenin özelliği gereği kullanılamadığı anlaşılmıştır.

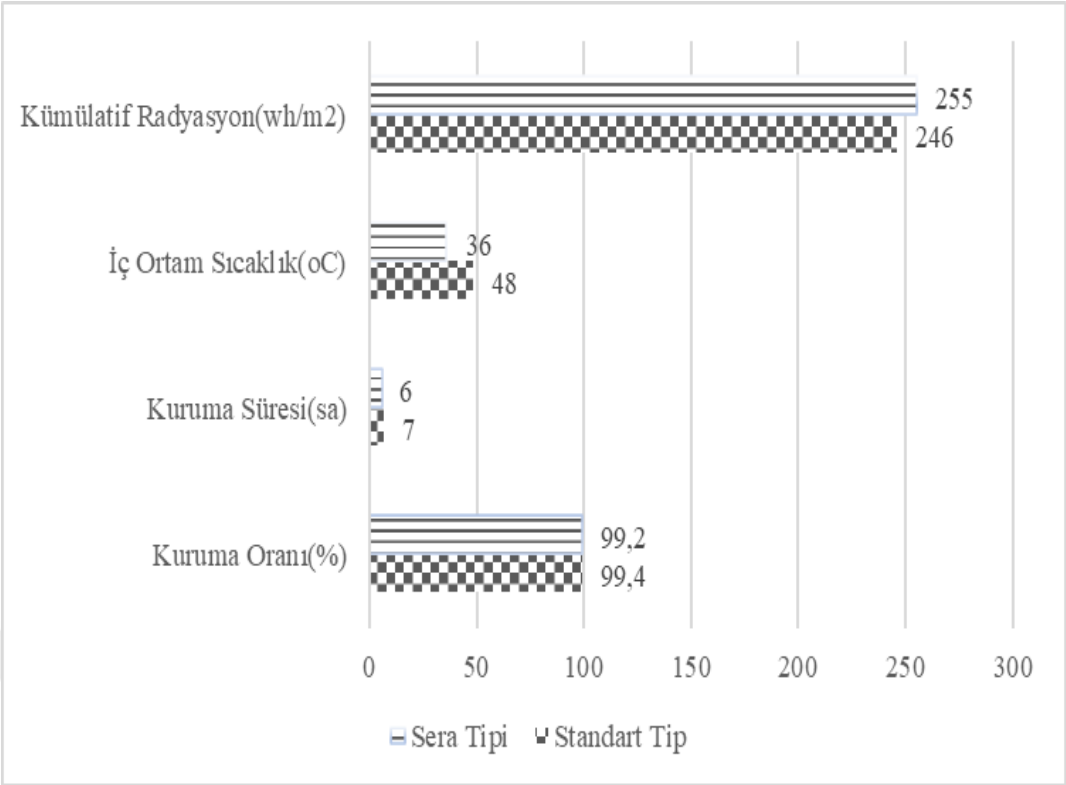
Aşağıda Şekil 4.1.3.1'de verilen grafikte sistemin çift ve tek katlı kullanılması durumunda incelen parametreler için ulaşılan değerlere yer verilmiştir. Tek kat örtülü sistemin çift kat örtülüye göre kuruma süresinde 1 saatlik bir azalma görülmektedir. Çamur son nem yüzdeleri kıyaslandığında yine tek kat örtülü sistemde daha iyi kuruma oranına ulaşıldığı görülmektedir. Dolayısıyla tek kart örtülü sitemde izolasyon faktörüyle ilgili sistem içi sıcaklığın azalmasına rağmen kuruma süresinde yakalanan verim gereği daha iyi performans gösterdiğinden izolasyon faktörünün etkisi bu dönem için ihmal edileceği görülmüştür.



Şekil 4.1.3.1. Sistem örtü performans verilerinin karşılaştırılması

4.1.3.2. Sistemin Konvansiyonel Olarak Çalıştırılması – Sera Etkisinin Değerlendirilmesi

Sistem içi ekipmanlardan pompa ve fan performanslarının değerlendirilmesi amaçlı, sistem konvansiyonel olarak çalıştırılmıştır. Elektrik enerjisinin kullanılmadığı, pompa ve fanın çalıştırılmadığı ölçümlerde sistem içinde sera tipi sistemlerle benzer özellikler gözlemlenmiştir. Fan kullanılmadığından sistem iç hava sirküle edilememiş, bu durum sistem iç ortam ısısında artış yaşanmasına neden olmuştur. İç ortam sıcaklıkları belli zaman aralıklarıyla ölçülmüş olup standart ölçümlere göre ortalama sıcaklık değerlerinde 12^{o}C'ye dek artış yaşandığı gözlemlenmiştir. Bu durum güz döneminde gün içinde ortalama 7 saatte kuruyan mermer çamurunun, kuruma süresini 6 saate düşürerek süre bakımından önemli bir avantaj sağlamıştır. Aşağıda verilen Şekil 4.1.3.2.'de sistemin konvansiyonel olarak çalıştırılması sırasında incelenen parametreler ve ulaşılan değerlere yer verilmiştir.

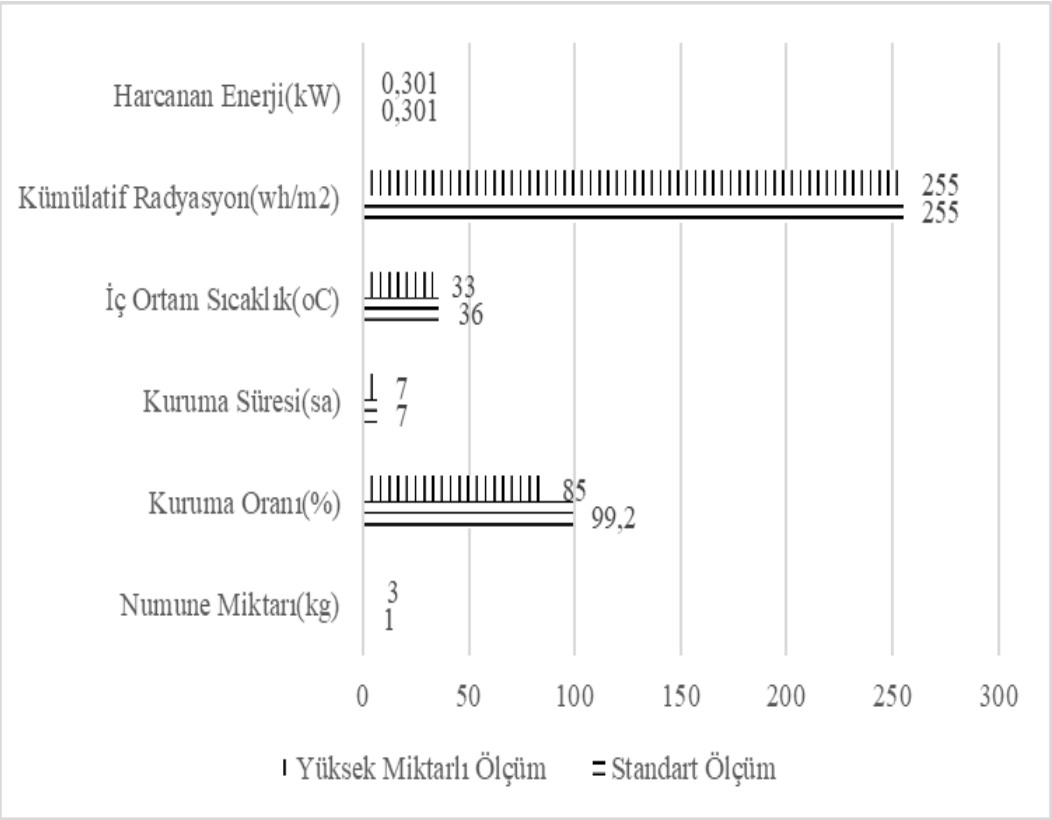


Şekil 4.1.3.2. Sistemin konvansiyonel çalıştırılması

4.1.3.3. Sisteme Yüklenen Numune Miktarının Değiştirilmesi

Tüm dönemler süresince standart analizlerde kullanılan numune miktarı 1kg'dir. Sistem performansının yükleme miktarı bakımından değerlendirilmesi amaçlı 3 kg'lık numuneler kullanılmıştır.

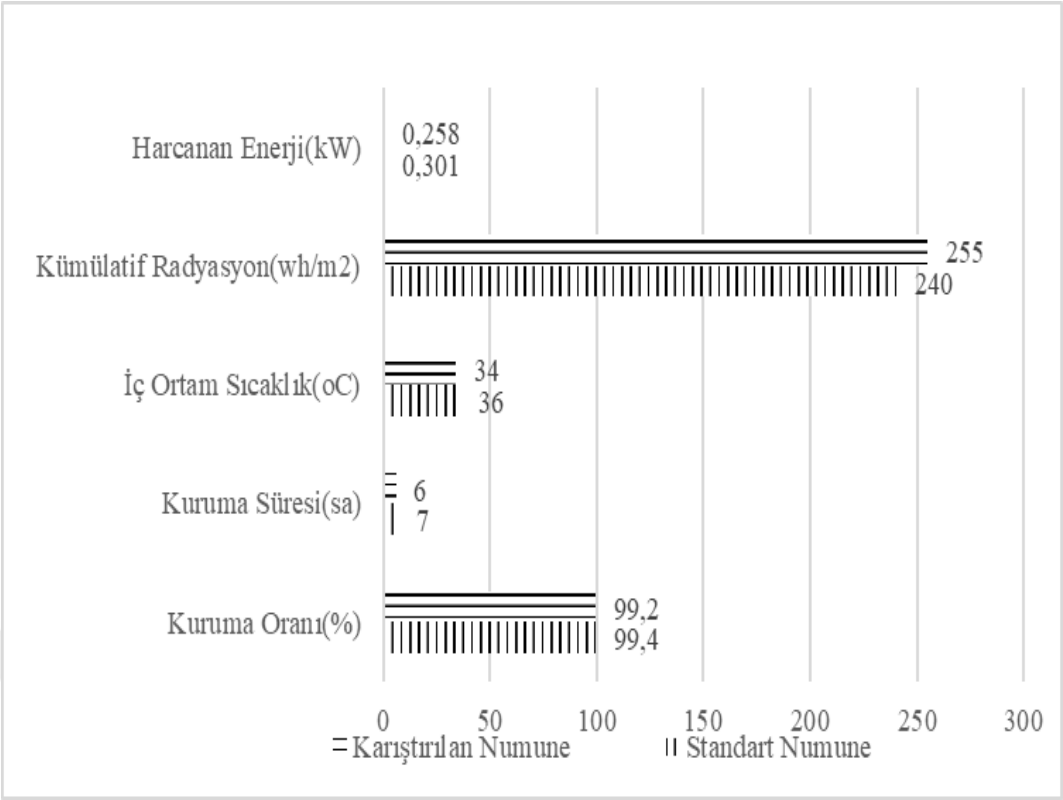
Güz döneminde sisteme yüklenen %24'lük nem oranına sahip mermer çamurunun 1 kg yüklenmesi halinde ortalama 7 saatte %99'lara varan kuruma gerçekleşirken, 3 kg yüklenmesi halinde bu saatler tam kuruma için yeterli olmamış 7 saat sonunda gerçekleşen kuruma %85 oranında gerçekleşmiştir. Aşağıda, Şekil 4.3.3'te verilen grafikte farklı yükleme miktarlarında incelen parametreler ve ulaşılan değerlere yer verilmiştir.



Şekil 4.1.3.3. Yükleme miktarının kuruma performansına etkisi

4.1.3.4. Numunenin Fiziksel Yöntemlerle Karıştırılmasının Kurumaya Etkisi

Kuruma ilk olarak numune yüzeyinde gerçekleştiğinden, numunenin yükleme tepsisine temas ettiği alt noktalardan su içeriğinin uzaklaştırılması üst kata göre nispeten daha zor olduğundan numune her saat başında spatula ile karıştırılmıştır. Bu sayede daha hızlı kuruma gerçekleşmesi öngörülmüştür. Aşağıda verilen Şekil 4.1.3.4'te yer alan grafikte yapılan analizler sonucunda güz dönemi hava şartlarında %24 nem içeriğine sahip 1 kg mermer çamurunun 7 saatlik bir kuruma süresinde %0,6 nem içeriğine sahip olduğu, spatula yardımıyla karıştırılan numunenin ise 6. saat sonunda %0,8 neme ulaştığı görülmüştür. Karıştırma işlemiyle 1 saat daha kısa sürede kurumanın gerçekleştiği sonucuna ulaşılmıştır.



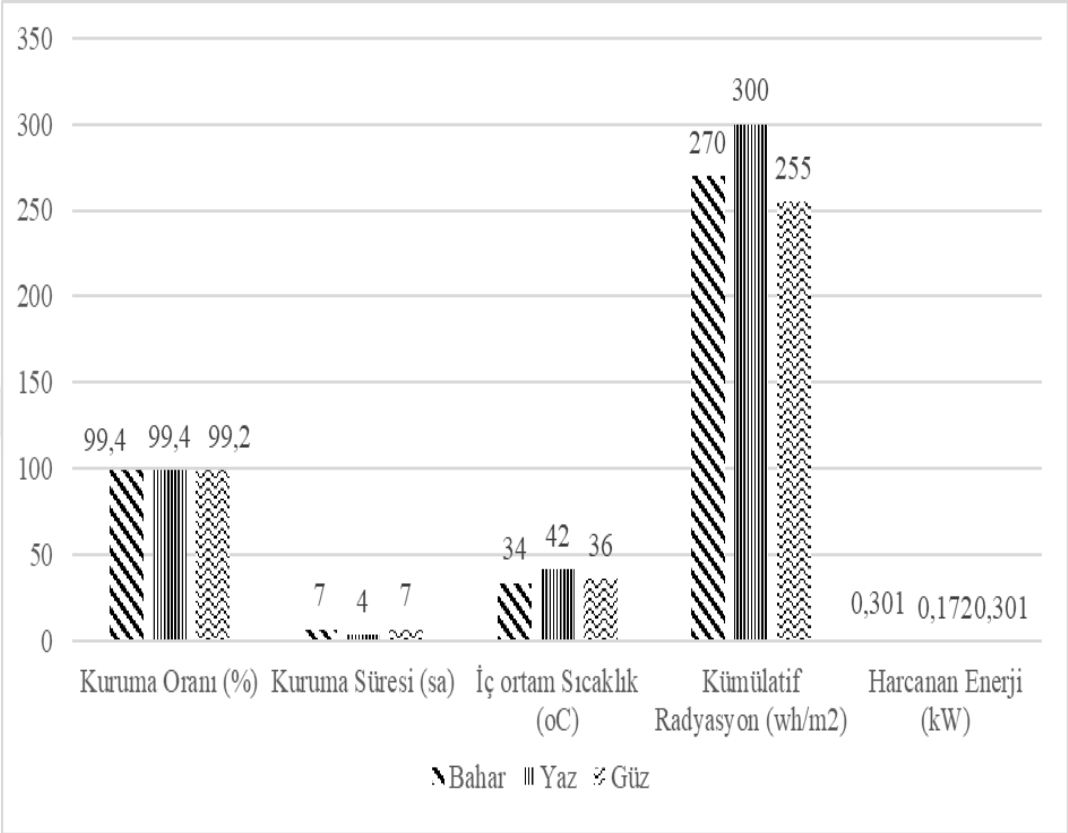
Şekil 4.1.3.4. Mermer çamurunun fiziksel yöntemlerle karıştırılmasının kurumaya etkisi

4.1.4. Dönemlerin Karşılaştırılması

Çalışmanın yapıldığı bahar, yaz ve güz dönemleri analizleri sonucunda ulaşılan bulgular, karşılaştırma yapılması amaçlı Şekil 4.1.4.'te gösterilmiştir. %24 nem içeriğine sahip mermer çamurunun kurutulması çalışmasında sistem performansının değerlendirilmesi amacıyla tüm dönemlerde incelenen parametreler aşağıdaki şekilde yer almaktadır.

Yaz döneminde, diğer iki döneme nazaran güneşli gün sayısının fazla olması nedeniyle sıcaklık ve radyasyon değerlerinin arttığı, dolayısıyla daha yüksek iç ortam sıcaklık ve kümülatif radyasyon değerlerine ulaşıldığı görülmüştür. Bahar ve güz dönemlerinde 7 saat olan kuruma süresinin yaklaşık %45 daha azalarak 4 saate indiği, bu durumun sistem içi ekipmanlar için harcanan elektrik enerjisi için de aynı oranda etki ettiği anlaşılmıştır. Kuruma verimi ve elektrik sarfiyatı bakımından değerlendirildiğinde en yüksek performansın yaz döneminde yakalandığı görülmektedir. Bahar ve güz dönemlerinde kuruma süresi ve harcanan enerji (elektrik) giderleri parametreleri bakımından aynı değerlere ulaşıldığı

görülmektedir. İç ortam sıcaklık değerlerinin güz döneminde bahar döneminden daha yüksek oluşu ya da kümülatif rafyasyon değerinin güz dönemine göre bahar döneminde yüksek oluşunun kuruma verimi açısından (kuruma süresi ve oranı) ihmal edilecek düzeyde olduğu anlaşılmaktadır.

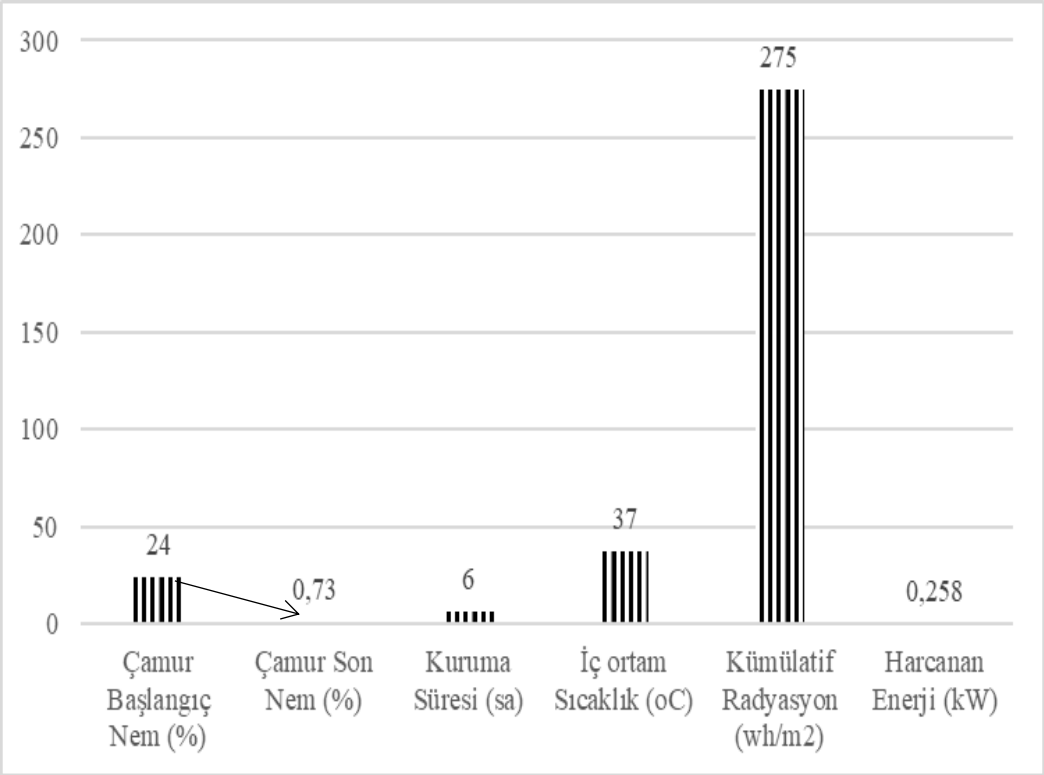


Şekil 4.1.4. Dönemlerin karşılaştırılması

4.1.5. Sistemin Yıllık Performansı

Güneş radyason değerinin azaldığı, çoğunlukla yağışlı ve düşük sıcaklıklarından kaynaklı kötü hava koşullarının görüldüğü kış döneminde analizler yapılmamıştır. Bahar, yaz ve güz dönemlerinde yapılan analizler sonucu ulaşılan bulgular eşliğinde sistemin yıllık performansı değerlendirililmiştir. Şekil 4.1.5.'te verilen grafikte tüm dönemlere ait değerlerin ortalamasının alınarak ulaşılan sistemin yıllık performans değerleri görülmektedir. %24 nem içeren mermer çamurunun nem değerinin 6 saatlik süre içinde %0,73'lere dek düştüğü görülmektedir. Dönemlere göre farklılık gösteren radyasyon değerlerinin, numune yükleme alanına oranlarak hesaplanan kümülatif radyasyon değerlerinin ortalamasının 275 wh/m^2 olduğu görülmektedir. Harcanan enerjinin kuruma süresi olan 6 saatin dolayısıyla sistemin çalışır halde

olduğu süre boyunca harcacan enerjinin tüm dönemlerin ortalaması 0,258 kW olduğu görülmektedir. Mevsim normallerine göre Meteorloji Müdürlüğü tarafından Bursa ili için belirlenen ortalama sıcaklık verileri (bahar, yaz ve güz dönemi ayları sıcaklık ortalaması 20,1^{o}C) göz önünde bulundurulduğunda sistemin kapalı ve numune giriş çıkışının yapıldığı kapının ayrıca izolasyonlu oluşu iç ortam sıcaklığının oldukça yüksek sayılacbilecek ortalama 37 ^{o}C olmasını sağlamıştır.



Şekil 4.1.5. Sistemin yıllık performansı

4.2. Tam Ölçekli Projelendirme için Maliyet Yaklaşımına İlişkin Bulgular

Laboratuvar çalışması sonucu ulaşılan bulguların doğrultusunda sistemin gerçek bir mermer çamuru ve tozu oluşan tesiste kullanımı halinde gerekli tasarım kriterleri belirlenmiştir. Bu amaçla mermer çamuru numunelerin temin edildiği mermer işleme tesisi pilot tesis olarak seçilmesine ilişkin detaylara Bölüm 3.2'de yer verilmiştir.

Tam ölççekli projelendirme için tasarım parametreleri ve maliyet analizi aşağıda sıralanmıştır.

Dikdörtgen tipte tasarlanan güneş hava ısıtıcılı sistemin kurulacağı alan mermer işleme tesisinin dış sahasında kurulacak alan ölçüleri;

Alan: 20 metre x 15 metre = 300m^2

Temel için betonorme yapı ölçüleri: 0.5m temel + 0,1 grobeton = 0,6 m

Gerekli beton miktarı: 20m x 15m x 0,6 m = 180 m^3

Temelde C30 sınıfı beton kullanımı halinde, 1 m^3 C 30 sınıfı güncel beton fiyatı 750 TL olduğundan beton yapı için oluşan maliyet:

180 m^3 x 750 = 135.000 TL= 8,323 €

Temelde betonorme yapı içinde kullanılacak demir 6 ton olarak belirlenmiş, 1 ton demirin güncel fiyatı 16.500 TL olduğundan demir için oluşan maliyet:

6 ton x 16.500 TL = 100.000 TL= 6.165 €

Temelde membran kullanımı halinde, 300 m^2'lik alan için, 1m^2 membran fiyatı işçilik dahil 30 TL olduğu için oluşan maliyet:

300 m^2 x 30 TL = 9.000 TL = 555 €

Temel eğimi yükleme kapısına doğru %1 oranında tasarlanarak mermer çamuru yüklemesi sonrası - katı madde oranı yüksek olmasına rağmen- olası su birikintileri önlemek amaçlı düşünülmüştür. Ayrıca eğimden kaynaklı akış yönüne doğru – atık yükleme kapısı önüne drenaj hattı yapılması halinde oluşacak yaklaşık maliyet:

1000 TL = 62 €

Üst ve yan yapılar dış cephe örtüsünün kaplanmasına uygun hale getirmek için çelik kafes sisteminin kurulması halinde yaklaşık 4 ton çelik kullanılacağı, 1 ton çeliğin güncel fiyatı 20.000 TL olduğundan, kafes sistemi için oluşan maliyet:

4 ton x 20.000 TL= 80.000 TL = 4.932 €

Dış cephe örtüsü için UV korumasız sahip 10 mm oluklu şeffaf 4 duvarlı policarbon levha için m^2'sinin güncel fiyatı 120TL olduğundan,

Toplan dış cephe örtüsü için (en 15m, boy 20m, yükseklik (5+1 üst/çatı payı = 6m)) yaklaşık 600m^2 gerekli olduğundan oluşan maliyet:

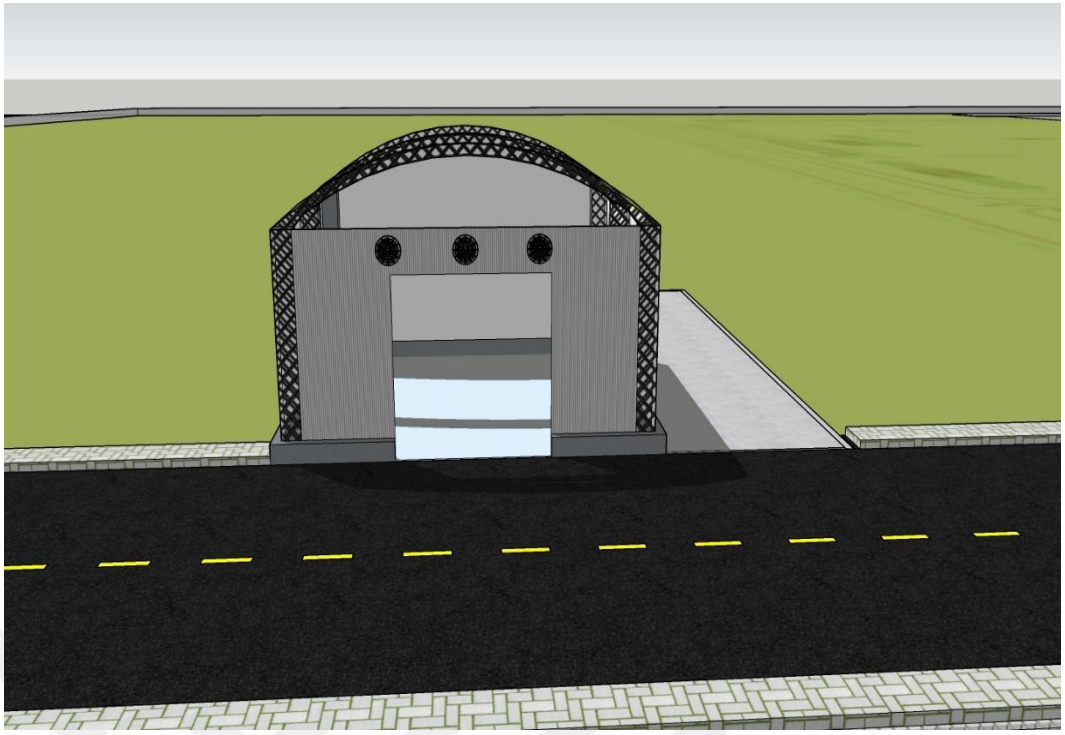
600 x 120 = 72.000 TL = 4.439 €

Sistem içinde fan kullanımı halinde, sistem kapasitesi için 4 adet + 2 adet yedek, 2,2 kW'lik, 5 A'lık akım, 20.000m^3/sa debi özellikli sanayi tipi fan için, 1 adet belirtilen özelliklerdeki güncel fiyatı 15.000 TL olduğundan, fan için oluşan maliyet:

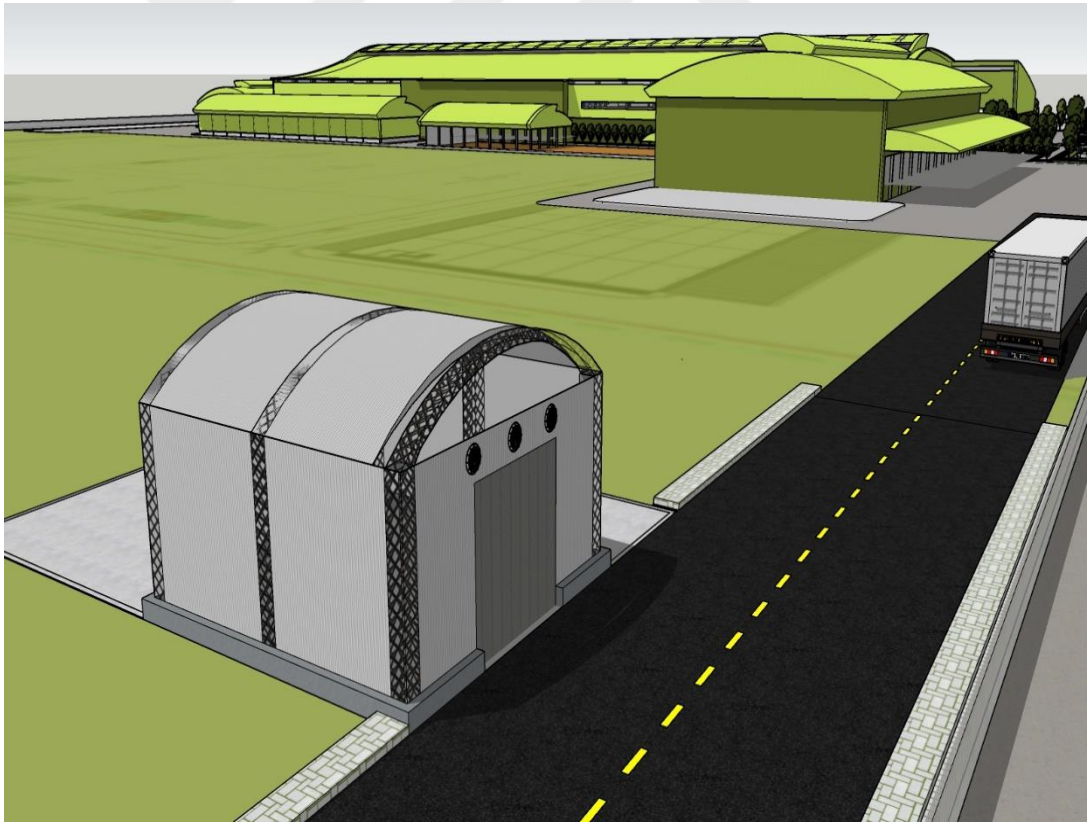
6 adet x 15.000 = 90.000 TL = 5.548 €

Sistem içine mermer çamurunun yüklemesi ve çıkışı kazıcı-yükleyici iş makinesi ile yapılması halinde saatlik ücreti: 34 €, satın alınması halinde 35.000 € olarak belirlenmiştir.

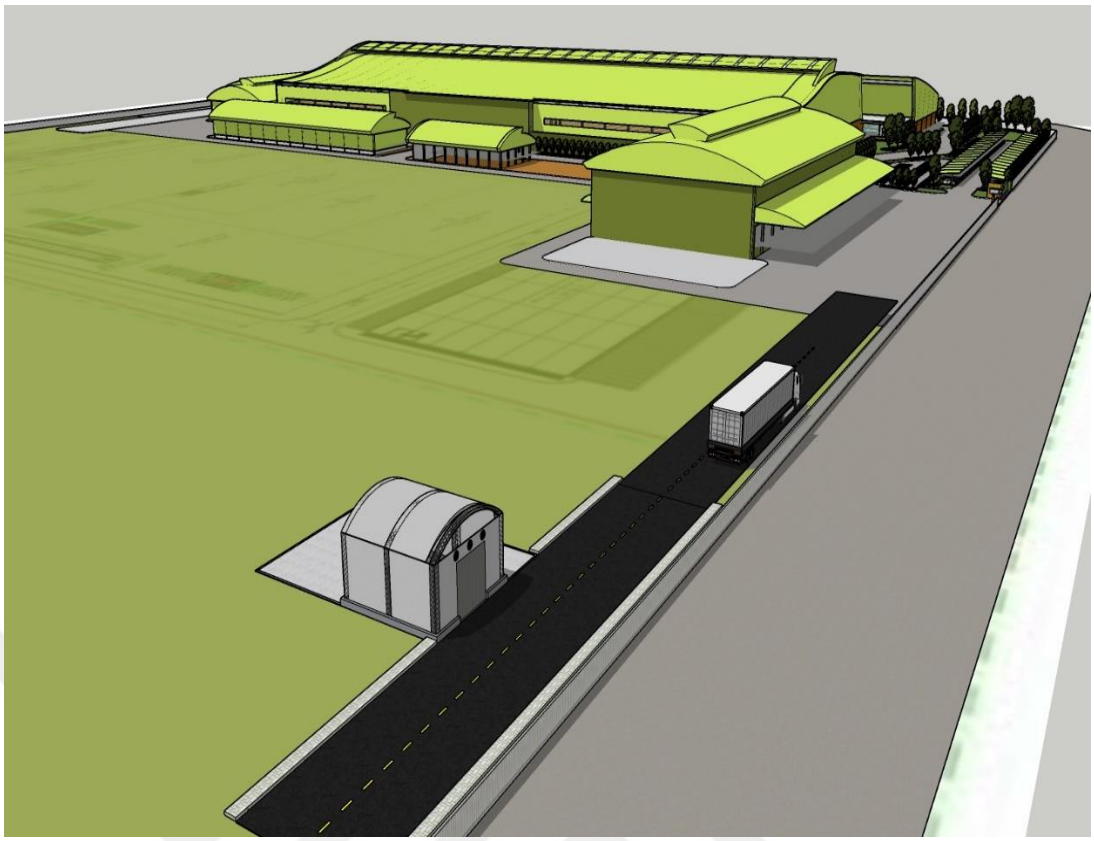
Tam ölçekli projelendirme amaçlı belirlenen tasarım parametrelerine uygun olarak sistemin üç boyutlu modellemesi için SketchUp yazılımı kullanılarak hazırlanan görseller Şekil4.2.1'de sunulmuştur.



Şekil 4.2.1. 3D Model ön görünüm



Şekil 4.2.2. 3D model üst görünüm



Şekil 4.2.3. 3D model genel görünüm

Tam ölçekli projelendirme için belirlenen maliyet Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Tam ölçekli projelendirme için maliyet

Malzeme ve Ekipman	**Özellikler**	**Maliyet**
Temel Yapı	Beton	8.323 €
	Demir	6.165 €
	Membran	555 €
	Drenaj Sistemi	62 €
Kafes Sistemi	Çelik	4.932 €
Dış Cephe Örtüsü	Şeffaf Oluklu Policarbon Levha	4.439 €
Fan (6 adet)	2,2 kW	5.548 €
İş Makinesi*	Kazıcı-Yükleyici	35.000 €*
Diğer giderler	Ö	2.000 €
Toplam		67.024 €

*Mermer işleme tesisinin bulunduğu bölgede kazıcı-yükleyici iş makinelerinin bulunma durumuna göre ortak kullanım mümkün ise satın alma gerektirmediğinden toplam maliyet yarıya düşeceği bilgisi göz önünde bulundurulmalıdır.

4.3. Sektör Temsilcileriyle Görüşmelere İlişkin Bulgular

Kaynak araştırması ile belirlenen mermer sektörü atıklarından özellikle mermer işleme tesislerinden çıkarılan atıkların farklı sektörlerde kullanılabilirliğine ilişkin çok sayıda literatür çalışması incelenmiştir. Bu çalışmalara ilişkin bilgilere, 2.5. bölümünde "Mermer Atıklarının Geri Kazanımına Yönelik Uygulamalar" ve 3.3. bölümde "Sektör Temsilcileriyle Görüşme" başlıkları altında ayrıntılı olarak yer verilmiştir.
Bu çalışma kapsamında 10 (mermer işleme tesisi) adet mermer sektöründen mermer atık üreticisine, 10 adet farklı sektörlerden (beton, yapı kimyasalı, alçı plaka, asfalt üretimi) atıkları kullanım potansiyeli bulunan atık kullanıcılarına Ek 1'de verilen formlar uygulanmıştır.

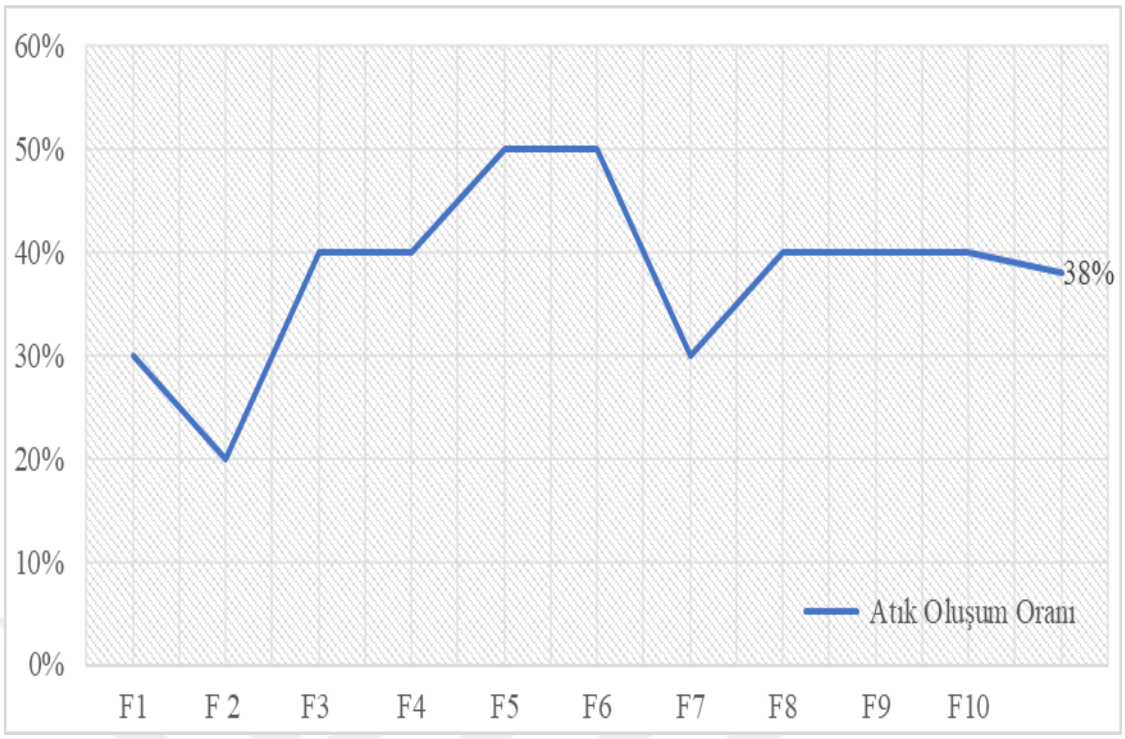
Atık Üreticisi Görüşme Formları Veri Analizi

Piyasa analizi amaçlı firma görüşmelerinin yapıldığı saha çalışmalarının ilk kısmında atık üreticisi konumundaki mermer sektöründe yer alan özellikle mermer işleme tesislerinin bulunduğu firma temsilcileriyle görüşmeler gerçekleştirilmiştir.

Anket uygulanan atık üretici firmaların faaliyet yılları bakımından değerlendirildiğinde 0-5 yıl arası 5, 5-10 yıl 4, 10 yıldan daha fazla sürede faal olan 1 adet firmaya yer verilmiştir. Mevcut alanlarında kapalı alanlarının 10.000-15.000 m^2 arası 3, 15000-20000 m^2 arası 4, 20000-25000 m^2' arası 2, 25.000 m^2'den fazla 1 adet firmanın olduğu görülmüştür. İstihdam bakımından değerlendirildiğinde 10-50 çalışanı olan 5 firma, 50-100 çalışanı olan 4 firma, 100'den fazla çalışanı olan 1 firma şeklindedir. Yıllık üretim kapasitesi bakımından değerlendirildiğinde 100.000-150.000 m^2 üretim yapan 2 firma, 150000-500000 ton arası üretim yapan 4 firma, 500.000-1.000.000 m^2 üretim yapan 3 firma olduğu, 1.000.000m^2'den fazla üretim yapan 1 firmanın olduğu bilgisine ulaşılmıştır. Üretimde kullanılan proseslerinin benzer nitelikte olduğu, kesim, ebatlama ve cila hatlarında farklı modellerde benzer nitelikli makinelerin kullanıldığı bilgisine ulaşılmıştır. Üretimde kullanılan hammaddenin mermer ocaklarından mermer kütlesi olarak tanımlanan şekilde temin edildiği, kesim işlemlerinden sonra cila hattında yardımcı madde olarak çeşitli kimyasalların kullanıldığı (epoksi vb.) belirtilmiştir. Firmalara satış ve pazar bilgileri sorulduğunda, ürünlerin bölge düzeyinde başta olmak üzere (il geneli ve çevre iller) ülke genelinde talep gördüğü ve komşu ülkeler olmak üzere (Azerbaycan, Suriye, Yunanistan, Bulgaristan…vb.) farklı ülkelere (Tunus, Libya, Birleşik Arap Emirlikleri, İsrail) ihraç edildiği bilgileri alınmıştır. Firmalar genel

olarak, mermer sektöründe yaşanan sıkıntıların Covid-19 pandemisi, son zamanlarda yaşanan kur artışları ve sonucunda yaşanan fiyat istikrarsızlığı, hammaddenin giderek pahalılaşması, enerji giderlerinin artması gibi durumlardan kaynaklandığını belirtmiştir.

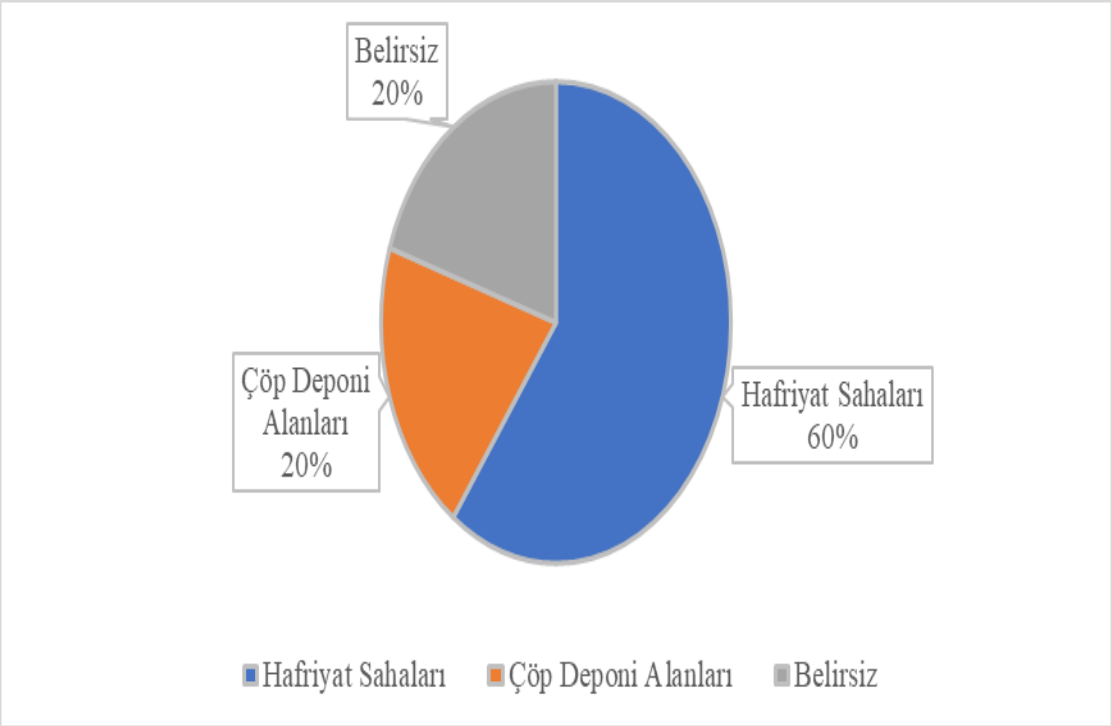
Görüşme yapılan firmaların tümünde, sulu kesim makinelerinin (waterjet) kullanıldığı bu nedenle oluşan parça mermer ve toz atıklarının yanı sıra mermer tozunun su ile birleşmesi sonucu mermer çamurunun oluştuğu görülmüştür. Üretimde yan ürün oluşumu sorulduğunda firmaların %30'u 'yan ürünün oluşmadığı' bilgisi verirken, %20'si parça mermer atıklarını yan ürün olarak tanımladıkları görülmüş geri kalan %50'si mermer tozu, mermer çamuru ve parça mermer atıklarının tamamını yan ürün olarak nitelendirmiştir. Temsilciler, parça mermer atıklarının kesim hattı ve diğer aşamalarda tamamlanmış ürünlerin taşıma sırasında düşmesi sonucu oluştuğu, mozaik ve karo olarak tekrardan üretimde girdi olarak kullanıldığından yan ürün olarak değerlendirmenin uygun olduğu belirtilmiştir. Mermer çamuru ve tozunu yan ürün sınıfına koyan firmaların bir kısmı farklı sektörlerde kullanımının değerlendirmesi amaçlı deneme çalışmalarına söz konusu ürünleri ilgili üreticilere gönderdikleri için yan ürün olarak nitelendirmiştir. Diğer kısım tez konusu araştırmayı fikir olarak uygulanabilir bulduğundan yan ürün tanımını kullanmayı tercih etmiştir. Üretimde oluşan atıklar sorulduğunda ise firmalar, genel olarak yan ürün sınıfındakileri tekrarlamış (mermer tozu, mermer çamuru, parça mermer atıkları) farklı olarak proses sularının oluştuğu bilgisini vermiştir. Firmalara atık oluşum miktarı sorulduğundan üretim miktarına oranına göre yaklaşık bir değer söylenmiştir. Firmaların verdiği mermer atığı oluşum oranları Şekil 4.3.'te gösterilmiştir. Firmalar ait özel bilgiler (ad, adres, görüşme yapılan kişi vb.) kişisel verilerin korunumu gereği istenmemiş ve firma 1, firma 2 …vb. şeklinde "F" kısaltma koduyla gösterilmiştir. Atık oluşum oranlarının verildiği çizgi grafikte, firmalara göre farklılaşan atık oluşumu oranının ortalaması görülmektedir.



Şekil 4.3. Firmaların atık oluşumu oranı

Firmalar, atık bertaraf yöntemi olarak oluşan atıkları tesis dış sahalarında yığınlar halinde beklettiklerini sonrasında belediyelere ait hafriyat ve çöp deponi alanlarına gönderdiklerini ifade ederken bir kısmı ise bu konu hakkında bilgi vermemiştir. Şekil 4.3.1'de firmaların oluşan mermer atıklarının bertaraf yöntemlerine ilişkin grafik yer almaktadır.

Firmaların %20'si önceki dönemlerde oluşan kaba atıkları karo ve mozaik, mermer tozu atıklarının ise yapı kimyasalı üretiminde kullanıldığını, bu amaçla birkaç kez ilgili üretici firmalara gönderdiklerini belirtmiş, ancak deneme amaçlı yapılan ve sürekliliği olmayan bu yöntemler devam etmediğinden mevcut atık yönetimi grafiğinde yer verilmemiştir. Çevre yönetim sistemine ilişkin bilgi istendiğinde firmaların tamamı bir çevre danışmanlık firmasından hizmet aldıklarını ifade etmiştir.

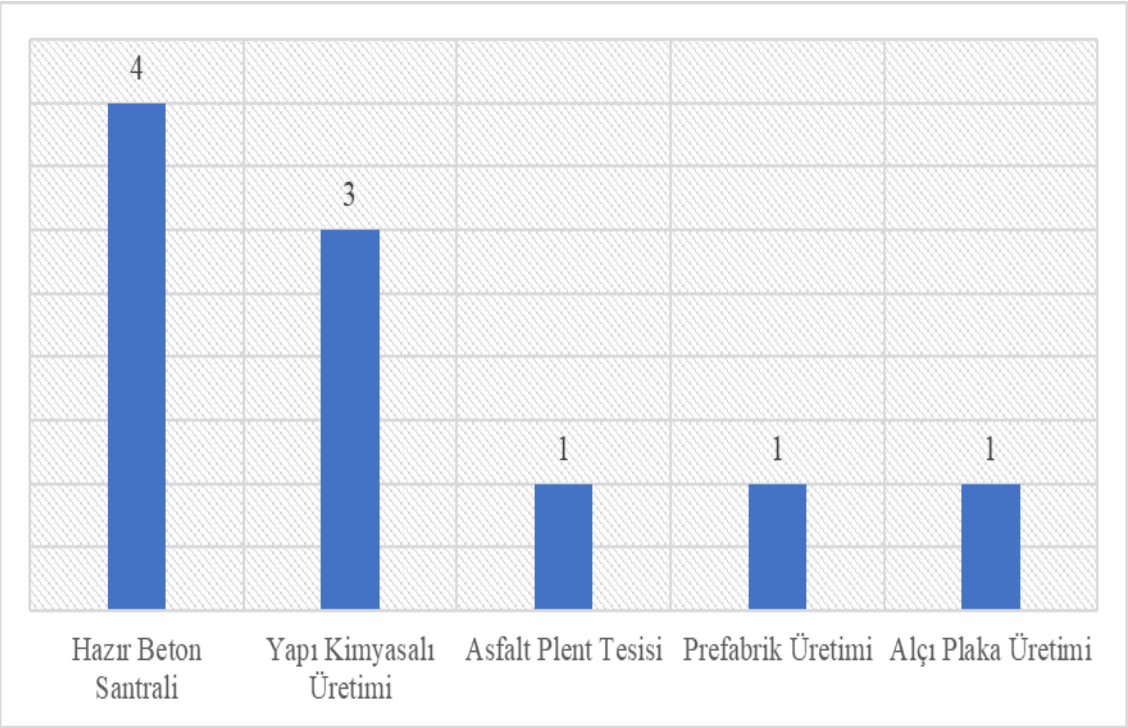


Şekil 4.3.1. Firmaların mevcut atık yönetimi

Firmalara, tez konusu mermer yan ürünlerinin ve/veya atıklarının üretimde yeniden kullanım potansiyeline ilişkin görüşleri sorulduğunda %20'si daha önce deneme çalışmalarında kullanılmak üzere atıkların bir kısmını yapı kimyasalı ve beton santrallerine gönderdiklerini belirtmiştir. Firmalar, atıkların tez konusu sektörler için üretimde alternatif ham madde olarak kullanılmasını ekonomik olarak fayda sağlayacağını, deneme çalışmaları için gönüllü olabileceklerini ifade etmiştir. Mevcut düzende belli bir süre tesis dış sahalarında biriktirilen atıklar, dev yığınlar haline dönüştüğünde dış alan kullanımını kısıtladığından, büyük nakliye araçlarıyla genellikle üretim yerlerine uzak mesafedeki belediyeler tarafından belirlenen hafriyat sahalarına taşınmaktadır. Bu durum, nakliye masrafları oluşturması ve fazladan iş gücü gerektirmesi bakımından maliyetleri arttırmaktadır.

Atık Kullanıcısı Görüşme Formlarının Veri Analizi

Piyasa analizi amaçlı yapılan saha çalışmalarının ikinci kısmında atık kullanıcısı konumundaki firmalar, kaynak araştırması sonucu belirlenen sektörlere göre seçilmiş ve görüşmeler yapılmıştır. Görüşme yapılan firmalara Ek 1'de sunulan atık kullanıcısı formu uygulanmıştır. Firmalara ait sektör, üretime ilişkin görüşme yapılan firma sayısına ilişkin özellikler aşağıda Şekil 4.3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.3.2. Görüşme yapılan firmaların sektörel dağılımı

Hazır Beton Üretimi- Beton Santralleri

Günlük 500-1300 m^3'e varan hazır beton üretiminin gerçekleştiği beton santrali firmalarında, üretim için gerekli prosesler, ham madde ve yan ürünler benzer nitelikli olduğu görülmüştür. Hammadde olarak çimento ve agrega kullanırken, yan madde olarak kimyasal katkı, su ve kum kullanılmaktadır. Görüşmelerde tez çalışmasına ilişkin bilgi verildikten sonra üretimde kullanıma uygun mermer atığı sorulduğunda, mermer tozu, mermer çamuru ve parça atıklar arasında en uygun atığın mermer tozu olacağı konusunda firmalar fikir birliğinde bulunmuşlardır. Bu durum mermer çamuru atıklarının ön işlem gerektirdiği sonucunu ortaya çıkarmıştır. Firmalardan biri daha önce deneme amaçlı mermer toz atıklarını üretimde kullandıklarını, bu durumun betonu hızlı sertleştirdiğini, bekleme süresini azalttığını, ani prize neden olduğu ve sonucunda betonda çatlaklar oluştuğundan kullanmayı tercih edilmediğini belirtmiştir. Mermer tozu katkılı betonlarda ayrıca su emme kapasitesinin yükseldiği görülmüş ve bu durumun beton ömrünü olumsuz etkileyeceğinden tercih edilmemiştir. Deneme üretiminde kullanılan mermer tozu miktarı kullanılan hammadde ve yardımcı maddelerin %10-%20 arasında oranlarında olduğu belirtilmiştir. Üretimde kullanılan kum malzemesi yerine kullanılan mermer tozunu, mermer çamuru şeklinde mermer

işleme tesisinden temin edildiğini, sonrasında kurutulduğu ve elekten geçirildiğini ifade eden firma yetkilileri, deneme çalışmalarını olumsuz olarak değerlendirmiştir.

Geri kalan diğer beton firmaları üretimlerinde dönem farklı malzemelerin kullanıldığına ilişkin çalışmaları duyduklarını, kullanımı amaçlı yapılacak deneme çalışmaları için gönüllü olabileceklerini, beton için gerekli standartların sağlanması için çeşitli ön işlemlere ihtiyaç duyulabileceğini ifade etmiştir. Üretimde özellikle ince kum yerine kullanımının uygun olacağı bu nedenle kurutma ve elekten geçirme gibi ön işlemler gerektiği belirtilmiştir. Üretim için gerekli maddelere alternatif olan mermer atığının kullanımı halinde atık miktarının azaltılması faydalı görülmüştür.

Yapı Kimyasalı Üretimi

Görüşmeler günlük yaklaşık 180-300 ton arasında yapı kimyasalı üretimi yapan firmalarla gerçekleştirilmiştir. Genel olarak yapı kimyasalı olarak tanımlanan ürünlerin, yapıştırıcı sıva, derz dolgu, kaba sıva, mantolama sıvasından oluştuğu, üretim için kullanılan prosesler, hammadde ve yardımcı maddelerin benzerlik gösterdiği görülmüştür. Hammadde olarak çimento ve kalsit kullanılırken yardımcı madde olarak çeşitli kimyasallar, polimer ve selüloz kullanılmaktadır. Hammaddelerden kalsitin mermer içeriği ile benzer özellikte oluşu üretimde kullanılması için uygun görünse dahi firmaların daha önce mermer atıklarını deneme üretimlerinde kullanmadıkları bilgisine ulaşılmıştır. Tez çalışmasına konu olan mermer atıklarının tekrardan üretimde kullanılmasını fikir olarak cazip bulduklarını, çalışmaların geliştirilmesi halinde deneme amaçlı üretimler için gönüllü oldukları bilgileri alınmıştır. Özellikle kalsit ve kum malzemelerinin ikamesinde kullanımı için kurutma, kırma/öğütme ve eleme gibi çeşitli ön işlemlere ihtiyaç duyulacağını öngörmüşlerdir. Uygun kullanım oranı için %25-%50 değerlerinde farklı yanıtlar alınmıştır.

Asfalt Üretimi- Asfalt Plent Tesisi

Günlük yaklaşık 700 tonluk asfalt üretimi yapılan plent tesisinde yapılan görüşmede firma yetkilisi tarafından verilen bilgilere göre üretimde bitüm, agrega, kırma kalker kullanılmaktadır. Tez konusu mermer atıklarını daha önce üretimde kırma taş/kalker yerine kullanıldığını, deneme çalışmalarının olumlu sonuçlandığı ancak nakliye giderleri nedeniyle fazladan maliyet oluşturması sonucu çalışmaların sonlandırıldığı bilgisine ulaşılmıştır. Deneme üretiminde kullanılan mermer atıklarının en uygun

formunun mermer tozu olduğu, ön işlem olarak öğütülmesi gerektiği, %30'lara dek kullanımının mümkün olduğu söylenmiştir. Görüşmede, atığın temini ve nakliyesi ile ilgili sorunların çözülmesi halinde mermer toz atıklarının üretimde tekrardan kullanımı için gönüllü olunacağı belirtmiştir. Asfalt üretiminde zaman zaman farklı özellikteki atıkların belirli oranlarda kullanıldığı, Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) teknik şartnamesine uygun olarak standartların sağlanması gerektiğinden uygun olarak belirlenen atıklar arasında uçucu kül, cüruf vb. atıklarının yer aldığı ancak mermer atıklarının henüz uygunluğunun belirtilmediği bilgisine ulaşılmıştır.

Prefabrik Üretimi

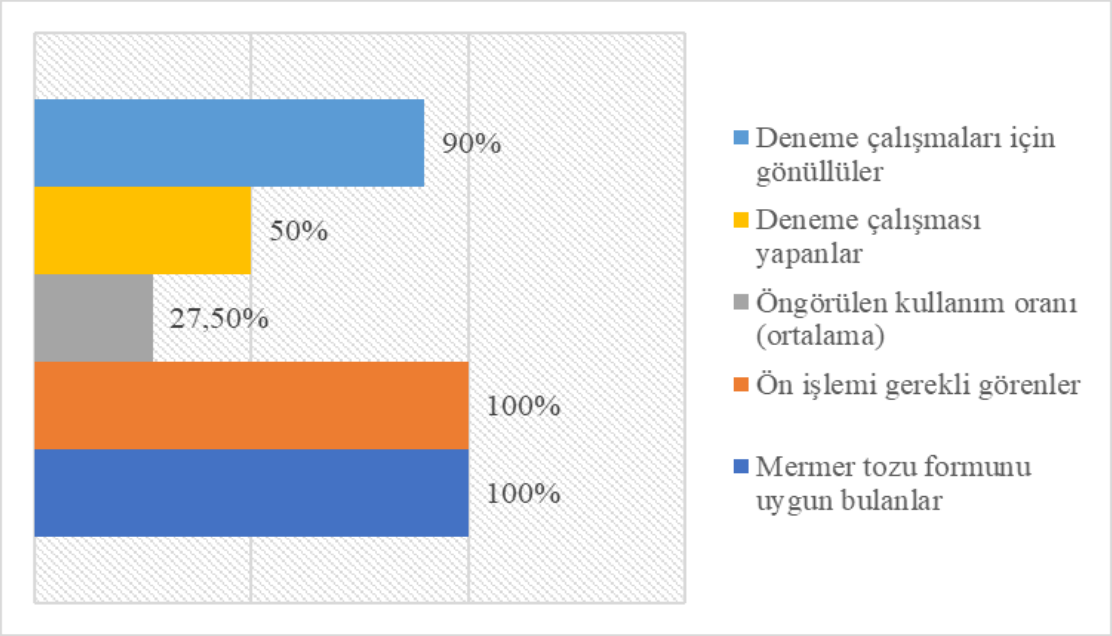
Kutu menfezleri, prefabrik kütle, köprü kiriş üretimlerinin gerçekleştirildiği firmada yapılan görüşmede günlük 100-150 m^3 üretim yapıldığı, ham madde olarak çimento ve agrega, yardımcı madde olarak kimyasal katkı ve uçucu külün kullanıldığı bilgileri alınmıştır. Tez konusu atıkların üretimde kullanıma uygun olan formun mermer tozu olduğu, bir süre deneme üretimlerinin gerçekleştirildiği ve verim alındığı ancak üretim alanında yeni bir silo gerektirdiğinden mevcut alanın bu durum için elverişsiz olması nedeniyle devam edemedikleri bilgisi alınmıştır. KGM Teknik Şartnamesinde uçucu kül kullanımının uygun ancak mermer tozunun henüz uygun bulunmaması nedeniyle standartlar bakımından mevzuat kapsamında engellerin bulunduğu belirtilmiştir. Mukavemet testleri sonucunun başarılı olduğu, filler malzeme olarak uçucu kül yerine kullanımının mümkün olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Mermer tozunun öğütme ve elekten geçirme gibi ön işlemler uygulandıktan sonra üretime katılması sonucu uygun olacağı belirtilmiştir. Kullanım oranı sorulduğunda üretimde yaklaşık olarak %15'lerde kullanıldığı bilgileri alınmıştır. Uçucu kül yerine ikamesinde pürüzsüzlük derecesini arttırdığı ancak beton ömrünü uçucu kül kullanımındaki kadar arttırmadığı görülmüştür. Uçucu kül dere malzemesi/agrega içindeki alkali silika ile reaksiyona girerken mermer tozunun reaksiyon vermediği tespit edilmiştir. Firma, tez konusu çalışmaların devamı halinde benzer nitelikteki çalışmaları desteklediklerini ve deneme çalışmaları için gönüllü olacağını belirtmiştir.

Alçı Plaka Üretimi

Alçı plaka üretimi yapılan firma ile görüşmede üretimde ham madde olarak alçı, yardımcı madde olarak agrega, kalsit ve çeşitli kimyasallar kullanıldığı bilgisi alınmıştır. Kırma, eleme, pişirme, katkılama ve paketleme proseslerinin bulunduğu

tesiste yılda 9 milyon m^2 alçı plaka üretimi yapılmaktadır. Üretimde kullanıma uygun tez konusu mermer atıkları arasında en ideal formun mermer tozu olduğu, kalsit yerine %10-%15 oranlarında kullanım potansiyelinin bulunduğu öngörülmüştür. Bir dönem deneme çalışmalarının yapıldığı firmada, mermer tozu katkılı alçı plakaların sertlik derecesinin yüksek, yoğunluğunun fazla ve aşınmanın arttığı gözlemlendiğinden kullanımından vazgeçilmiştir. Ayrıca deneme çalışmaları sırasında mermer tozunu kırma, eleme ve öğütme gibi ön işlemlerden geçirdikten sonra kullandıkları bilgisine ulaşılmıştır. Firma ile yapılan görüşmede araştırma geliştirme (ar-ge) çalışmalarının desteklenmesi halinde deneme üretimi için gönüllü olduklarını, üretimde kullanılan hammadde ve yardımcı maddelerin alternatifi olan atıkların kullanımı ile ekonomik ve çevresel faydayı değerli buldukları bu nedenle bu ve benzeri çalışmaları takip edildiği bilgisi alınmıştır.

Görüşmeler sonucu, atık kullanıcısı konumundaki firmaların, sektörlerden bağımsız olarak genel bir şekilde tez konusu atıkların kullanılabilirliği üzerine değerlendirmelerine ilişkin grafik Şekil 4.3.3'te verilmiştir.

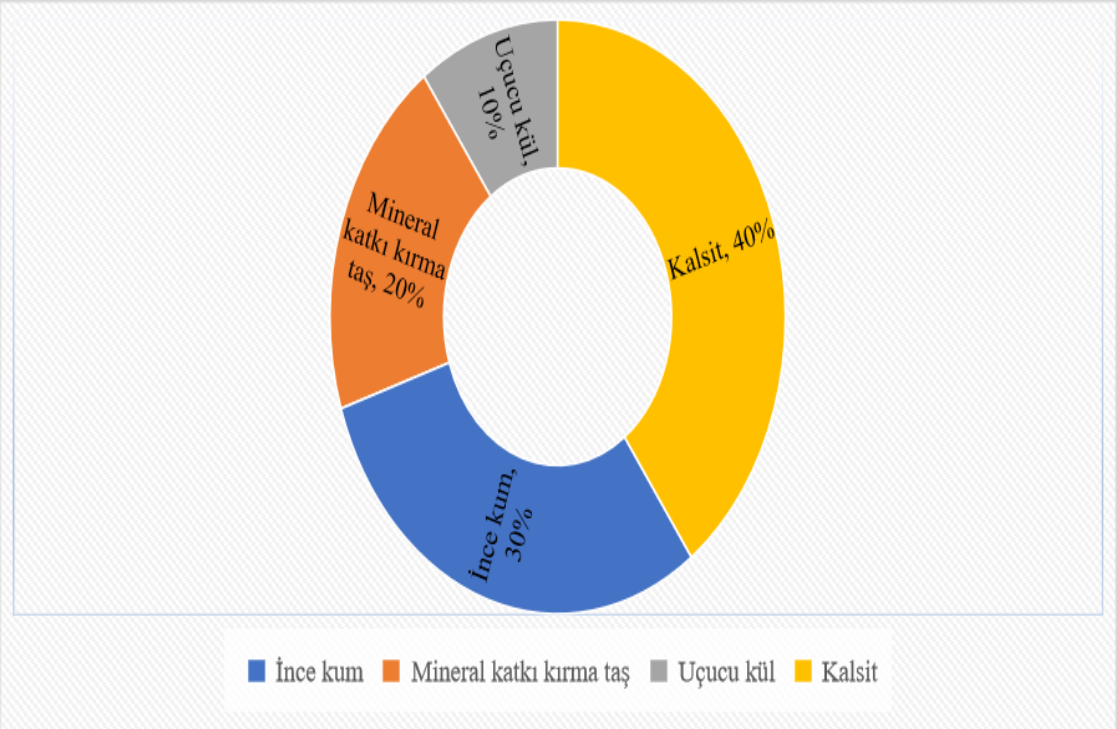


Şekil 4.3.3. Mermer atıklarının kullanılabilirliğine ilişkin değerlendirmeler

Görüşme yapılan firmaların tamamı tez konusu mermer sektörü atıkları (mermer çamuru, mermer tozu ve parça mermer atıkları) arasından en uygun formun mermer tozu olduğunu, üretimde kullanımı halinde ön işlemlerin gerektiğini belirtmiştir. Üretimde kullanımı halinde hammadde ve yardımcı maddeler içinde benzer nitelikteki maddenin

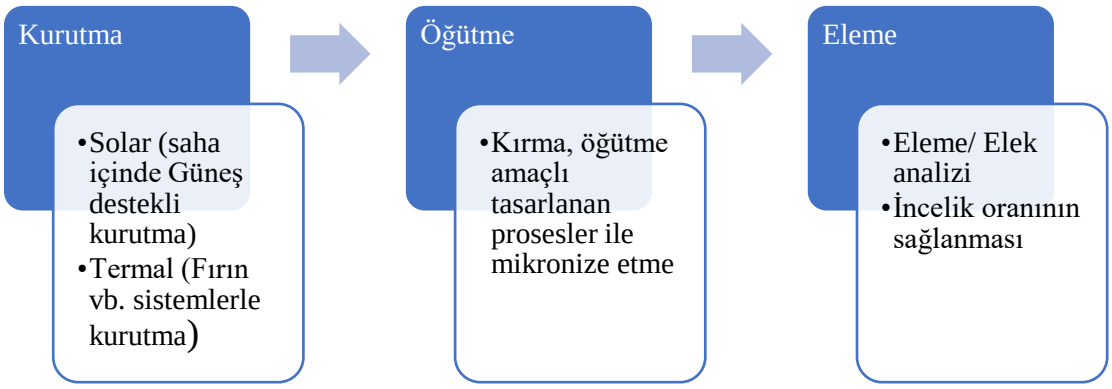
kullanım oranına göre belirli oranlarda öngörüde bulunulmuştur. Farklı sektörlerden firmalar olduğundan her biri farklı kullanımı oranı belirlemiş ve uygun olması halinde mermer toz atıklarının kullanımı oranı ortalama %27,5 olarak tespit edilmiştir. Görüşme yapılan firmaların %50'sinin daha önce üretimde mermer tozunun kullanımına ilişkin deneme çalışmaları yaptığı anlaşılmıştır. Görüşülen firmaların %90'ı, bu tez çalışması ve benzeri nitelikteki ar-ge çalışmalarını destekleyen ve deneme üretimi için pilot tesis olmak adına gönüllü olarak destek vereceklerini ifade etmiştir.

Mermer tozunun üretimde kullanımı halinde, hammadde ve yardımcı maddeler içinde benzer nitelikteki hangi maddenin yerine ve ne kadar kullanımının uygun olmasına ilişkin sorulara verilen yanıtların grafiği aşağıda Şekil 4.3.4'te yer verilmiştir.



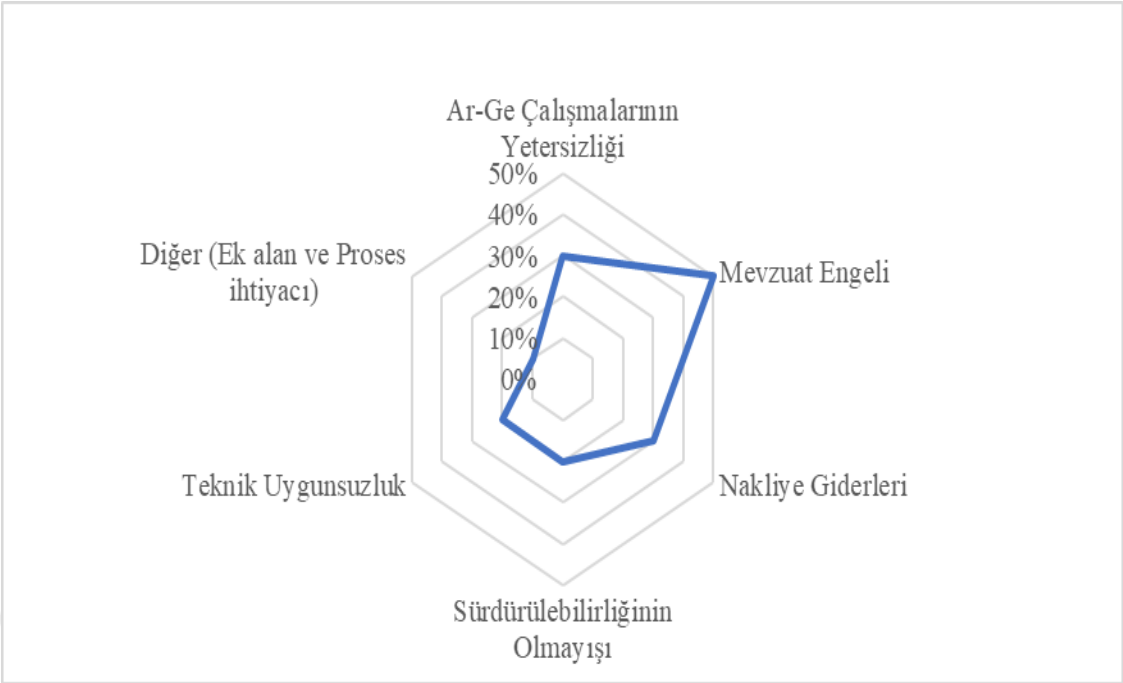
Şekil 4.3.4. Mermer atıklarının üretimde kullanımına dair özellikleri

Mermer çamuru ve toz atıklarının üretimde kullanımı öncesi çeşitli ön işlemlerin uygulanması gerektiği konusunda hem fikir olan firmalar işlemlerin özelliğine konusunda çeşitli önermelerde bulunmuştur. Firmaların tamamı üretim için uygun atık formunu toz olarak belirlemiş, nem içeriğinin azaltılması amaçlı kurutma, kırma ve öğütme sonrasında eleme amaçlı elek analizi benzeri ön işlemlerin gerektiğini ifade etmişlerdir. Firma görüşlerine göre hazırlanan gerekli ön işlemler Şekil 4.3.5'te verilmiştir.



Şekil 4.3.5. Mermer atıkları için gerekli ön işlemler

Daha önce mermer toz atıklarını üretimde kullanmak üzere deneme çalışmalarında bulunan firmaların mevcut üretimde söz konusu atıkları kullanmamasına ilişkin gerekçeler Şekil 4.3.6'da sunulmuştur. Firmalar arasında kalite standartları dışında mevzuatça belirlenmiş teknik şartnamelere uyma zorunluluğu bulunanların, üretimlerinde farklı özellikli maddeler kullanımı yasal olarak engellendiği anlaşılmıştır. Diğer üretim alanlarında Ar-Ge çalışmalarının yetersiz olduğu görülmüş, deneme çalışmalarının detaylı yapılamadığı anlaşılmıştır. Atığın depolanması ve kullanılması kısmında ek alanlar ve proseslere ihtiyaç duyulduğundan ek maliyet oluşturması gibi gerekçeler de firmalar tarafından dile getirilmiştir. Ayrıca deneme çalışmaları süresince atığın sürekliliği konusunda sıkıntıların yaşandığı, düzenli olarak temin edilemediği, mermer sektörü firmaların genellikle farklı sektörlerden firmaların bulunduğu organize sanayi bölgelerinin dışındaki alanlarda konumlandığı, bu durumların nakliye giderlerini arttırdığı anlaşılmıştır. Tüm bu durumların dışında mermer atıklarını kullanan ancak ürün için deneme çalışmaları sonucu mermer atık katkılı ürünleri gerekli standartlar konusunda zayıf bulan, teknik uygunsuzluk olarak gerekçelendiren firmaların da olduğu görülmüştür.



Şekil 4.3.6. Mermer atıklarının geri kazanım uygulamalarında karşılaşılan mevcut sorunlar

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu bölümde üç aşamada gerçekleştirilen saha çalışmaları sonucunda elde edilen bulgular değerlendirilmiştir.

İlk aşama olan laboratuvar çalışması kapsamında güneş hava ısıtıcılı sistemlerin mermer çamuru kurutma performansının değerlendirilmesi amaçlı güneş hava ısıtıcı sistem prototipi tasarlanmıştır. Prototip genel olarak güneş enerjisinden maksimum fayda sağlanması amaçlı üçgen prizma şeklinde tasarlanmış, dış cephe örtüsü için UV geçirgenliğe sahip şeffaf oluklu policarbon örtü kullanılmıştır. Prototip içinde hava akımının kontrolü için – kuruma sırasında ortamda oluşan nemin dışarıya atılması, havanın sürekli sirkülasyonu- fan kullanılmıştır. Kurutulacak ürün-mermer çamuru, prototip içine ısı iletim katsayısı yüksek alüminyum tepsilerle yüklenmiştir. Kurutma performansına etki eden temel faktörler güneş hava ısıtıcı sistemin kullanıldığı An ve Liu (2017) tarafından yapılan çalışmada olduğu gibi nem, hava sıcaklığı, güneş ışınımının yoğunluğu/radyasyon yoğunluğu gibi faktörler incelenmiştir. Sistem performansı, mermer çamurunun kurutma işlemi öncesi ve sonrasında oluşan ağırlık farkı ve nem tayini yöntemleri ile belirlenen farklı nem oranları üzerinden değerlendirilmiştir. Laboratuvar çalışmaları için deney tasarımı yapılmış, farklı dış koşullar altında, bahar yaz ve kış mevsimlerinde olacak şekilde üç farklı dönemde sistem performansı incelenmiştir. Güz döneminde ayrıca, sistem ve numune üzerinde farklılıklara gidilerek değerlendirmeler yapılmıştır. Bahar ve güz döneminde 7 saatlik sürenin, mermer çamuru için %99'luk katı madde değerine ulaşmak için yeterli olurken kuru ve sıcak havanın hakim olduğu yaz döneminde bu sürenin 4 saate düştüğü görülmüştür. Bu durum Ameria, Benhamoub ve Chibaneb (2018) tarafından yapılan çalışmada Güneş radyasyonu ile kuru – sıcak hava arasında doğrusal bir ilişki olduğu sonucunu destekleyici niteliktedir. Yine aynı çalışmada güneşli günlerde, kurutucudaki sıcaklığın çevre sıcaklığından 20-22^{o} C daha fazla olduğu belirtilmiş, yapılan deneylerde yaz döneminde kuru sıcak hava koşullarında dış hava sıcaklığı 30-35^{o}C iken, prototip içinde sıcaklık 66 – 88^{o}C arasında değiştiğinden belirtilen ifadeyi desteklenmekte ve 50-55^{o}C daha fazla olduğu şeklinde bir başka sonuca ulaşıldığı görülmektedir.

Saha çalışmalarının ikinci aşamasında, ilk aşamada deneylerde kullanılan mermer çamurunun temin edildiği mermer işleme tesisine uygun güneş hava ısıtıcılı

sistemlerin kullanımı halinde gerekli tasarım esasları ve oluşan maliyetler için tam ölçekli projelendirme yapılmıştır. Tasarlanan ve analizlerin yapıldığı prototip şekil bakımından tam ölçekli projelendirme için elverişsiz bulunduğundan Salihoğlu (2018) tarafından yapılan çalışmada güneş hava ısıtıcılı sistemlerin benzeri tasarımın şekil uygun bulunmuştur. Günlük 1 ton mermer çamurunun kurutulabileceği, mermer işleme tesisi dış sahasında 300 m^2'lik alanda kurulacak dikdörtgen tipli güneş hava ısıtıcılı sistemin, dış cephe örtüsü prototipte olduğu gibi UV geçirgenliğe sahip şeffaf policarban levha olacak şekilde tasarlanmıştır. Dış cephe örtüsünün giydirilmesi amaçlı, çelik kafes sisteminin kurulması uygun bulunmuştur. Mermer çamurunun prototipte tepsilerle yüklenmesi, tam ölçekli projelendirme ile belirlenen tasarım parametrelere bakıldığında ve yükleme yapılacak atık miktarı dikkate alındığında yükleme şeklinde farklılığa gidilmesi gerektiği görülmüştür. Başta raylı sistem ile tepsi benzeri büyük levhalar üzerine mermer çamurunun yüklenmesi düşünülmüş, sonrasında konveyör bantlı sistemler incelenmiş ancak en son işletme problemlerinin en az yaşanacağı daha basit bir yöntemle çamurun sisteme yüklenmesine karar verilmiştir. İş makinesiyle (kazıcı-yükleyici) sisteme taşınan mermer çamuru 0,5 m yüksekliğinde serilmesiyle sistem içinde bulunan 2.2 kW güçlü fanlar ile hava akımı kontrolü sağlanarak yaz dönemlerinde 4 saat içinde tam kuruma gerçekleşeceğinden, ayrıca tesis kapasitesi ikinci bir yüklemeye de izin verdiğinden 2 ton mermer çamuru kurutularak toz formuna ulaşması sağlanabilecektir. Güz ve bahar döneminde bu süre yaklaşık 7 saati bulduğundan günlük 1 ton kurutulacağı öngörülmektedir. Laboratuvar çalışmaları kış döneminde yapılmadığından ortalama kuruma süresi hakkında net bir değer olmamakla birlikte, yağışlı ve serin hava koşullarının görüldüğü günler dikkate alındığında kuruma süresinin saat olarak belirlenmemiş olsa dahi bir günü aşmayacağı dolayısıyla günlük 1 ton yüklemeye müsait olacağı varsayılmıştır. Tam ölçekli projelendirmede belirlenen maliyetler (inşa giderleri-temel yapı ve malzemeler, diğer (personel vb.)) arasında bulunan iş makinesi toplam maliyetin yarısından fazlasını oluşturduğundan, mermer işleme tesisinin bulunduğu bölgede kazıcı-yükleyici iş makinelerinin bulunma durumuna göre ortak kullanım mümkün ise satın alma gerekmeyecektir. Tasarlanan yeni kurutucu sistemin sunduğu çevresel faydanın yanı sıra önceki bertaraf giderleri ve yöntemi göz önünde bulundurulduğunda, atığın geri kazanımı ile katma değeri yüksek ürüne dönüşerek farklı sektörler için hammadde olma özelliğinin kazandırılması uzun vadede ekonomik faydaya dönüşeceği

öngörülmektedir. Endüstriyel simbiyoz yaklaşımıyla atığın kullanımı ile ilgili sektörlerin belirlenmesi ve firma ağlarının kurulması sayesinde ikame edilecek ham maddenin altı değerlerde olması muhtemel geri kazanılmış maddenin bir ekonomik değeri olacağından kurutucu sistemin ilk yatırım maliyetinin kısa sürede amorti edileceği öngörülmektedir.

Kaynak araştırması kapsamında incelenen literatür çalışmalarında mermer çamurunun geri kazanımı ile farklı sektörlerde hammaddelere alternatif olarak kullanımınım mümkün olduğu görülmüştür. Mermer toz atıklarının özellikle inşaat sektöründe üretimde kullanılan hammaddelerle benzer fiziksel ve kimyasal özellik gösterdiği anlaşılmıştır. Mermer çamurunun doğrudan kullanımının mümkün olmadığı, toz formunda kullanımının uygun olduğu bu amaçla geri kazanımı için başta kurutma olmak üzere ön işlem gerektirdiği sonucuna ulaşılmıştır. Güneş hava ısıtıcılı sistem kullanımı ile kısa sürede kontrollü alanda yapılması, kapalı ve korunaklı alanda kurutulan mermer çamurunun kalitesini artıracaktır. Dış şartlardan (rüzgar, kir, toz, yağış) korunduğundan kurutma verimi yüksek ve atığın geri kazanımı amaçlı üretimde girdi olarak kullanılacağı sektörler için elverişli hale gelecektir.

Saha çalışmalarının üçüncü ve son aşamasında mermer sektöründe mevcut atık yönetiminin belirlenmesi ve tez konusu güneş hava ısıtıcılı sistemin performans verileri öncülüğünde tam ölçekli projelendirme ile sahada kullanımı halinde değerlendirmeler için piyasa analizi yapılması amaçlanmıştır. Piyasa analizi için mermer sektörü temsilcileriyle görüşmeler yapılmış sonrasında mermer çamuru ve tozu atık kullanım potansiyelinin bulunduğu literatür çalışması ile belirlenen sektörlerin temsilcileriyle görüşülmüştür. Görüşmeler için atık üreticisi ve kullanıcısı olarak hazırlanan görüşme formları üzerinden yapılan piyasa analizine göre, mermer atıkları üretimin %38 oranında oluştuğu, mevzuatta yer aldığı şekilde inert etkisiz olarak belirtilen atıkların yönetiminde sıkıntılar olduğu, mevcut düzende gelişigüzel alanlarda bekletildikten sonra hafriyat alanlarına gönderildiği, geri kazanım uygulamalarının kısıtlı deneme çalışmalarından ibaret olduğu görülmüştür. Atık yönetimini güçleştiren ve geri kazanım uygulamaları için gerekli olan su/nem içeriğinin azaltılmasında güneş hava ısıtıcılı sistemin kullanılması halinde atıkların kontrollü ortamda kurutularak ilgili alanlara gönderilmesi, çevre kirliliğini azaltacaktır. Geri kazanım ile farklı sektörlerde kullanımı üretim giderlerini düşürdüğünden ekonomik kazanç sağlayacağı kanısına varılmıştır.

Sonuç olarak bu tez çalışması, atık yönetiminde bu tür yeni uygulamaların çevresel ve ekonomik açıdan katkılarının değerli olduğu, sektördeki aktörlerin bu ve benzeri arge çalışmalarıyla desteklenmesinin gerekliliğini ortaya çıkarmıştır.

KAYNAKLAR

Akpınar, A., Evcin, S., 2019. Silan modifiye mermer toz atıklarının epoksi polimer özelliklerine etkilerinin araştırılması, *El-Cezerî Journal of Science and Engineering* 6(3): 712-725.

Alagöz, O., Şahin, N.S., 2020. Atık mermer tozu katalizörlüğünde haşhaş yağından biyodizel eldesi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi,* 20:892-899.

Alyamaç, K.E., İnce, R., 2007. Karo mozaik döşeme kaplama plak üretiminde atık mermer çamurunun kullanılabilirliği, 7. Ulusal Beton Kongresi İTÜ, İstanbul.

Ameria, B., Haninia, S., Benhamoub, A., Chibaneb, D., 2018. Comparative approach to the performance of direct and indirect solar drying of sludge from sewage plants, experimental and theoretical evaluation, *Solar Energy*, 722 – 738.

An, X., Liu, W., 2017. Review on sludge drying process and dryer in solar energy, *American Journal of Energy Engineering,* 5(5): 34-38.

Anonim, 2019. Aksaray organize sanayi bölgesi'nde endüstriyel simbiyoz olanaklarının araştırılması projesi endüstriyel simbiyoz olanakları raporu, T. C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Ahiler Kalkınma Ajansı, Nevşehir.

Anonim, 2021. Doğal Taşlar Sektör Raporu, T.C. Ticaret Bakanlığı, İhracat Genel Müdürlüğü, Ankara.

Anonim, 2022. Güneş Enerji Atlası, T.C Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.

Atabey, V., 2020. Mermer atıklarından köpük beton blok üretimi, *Yüksek Lisans Tezi*, AKÜ İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Afyon.

Aydın A., 2013. İnce agregasında farklı oranlarda mermer tozu kullanılmış betonların dayanım ve dayanıklılık özellikleri, *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

Aydın, A., Egemen M., 2011. Mermer toz atığının inşaat sektöründe kullanımı, III. Ulusal Katı Atık Yönetimi Kongresi, Girne, Kıbrıs.

Bilgin, N., 2010. Mermer tozu atıklarının yapı malzemesi üretiminde kullanımı, *Yüksek Lisans Tezi,* YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Anabilim Dalı, İstanbul.

Büyüksağiş, İ., S., Çetintaş, S., Uygunoğlu T., Işıtır, A., 2016. Çimento esaslı seramik derz dolgu harcında atık mermer tozlarının kullanımı, *El-Cezerî Journal of Science and Engineering* 3(1): 66-74.

Çitoğlu S., G., Bayraktar, O. Y., 2018. Atık mermer tozu ve inşaat sektöründeki kullanımı ile ilgili çalışmalar, 2nd International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies 2018 Samsun, SETSCI Conference Indexing System, 1323-1330.

Demir, İ., Başpınar, S. M., Abadan S., Kahraman, E., Ünal, O., 2014. Mermer tozunun gazbeton üretiminde geri dönüşüm malzemesi olarak kullanılabilrilğinin araştırılması, Uluslararası Çevre Ahlak Sempozyumu, Adıyaman, Türkiye.

Erdem, R.T., Öztürk, A. U., 2012. Mermer tozu katkısının çimento harcı donma-çözünme özellikleri üzerine etkisi, *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi* 1(2), 85-91.

Filiz, M., Özel, C., Soykan, O., Ekiz, Y., 2010. Atık mermer tozunun parke taslarında kullanılması, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi* 6(2): 57-72.

Kushwah S., Prakash O., 2016. Utılızatıon of marble slurry in cement mortar, *Internatıonal journal of engıneerıng scıences & research technology,* 2277-9655.

Kürklü, G., Görhan G., Boğa, A. R., 2018. Atık mermer tozlarının seramik yapıştırma harcı olarak değerlendirilmesi, *AKU J. Sci. Eng.* (2018) 015605 (295-305).

Lahori, R., Gupta, V., Yadav, A. K., 2016. A review on different methods used for performance enhancement of solar air heater, *Journal of Energy Technologies and Policy,* 2225-0573.

Li, L. G., Huang, Z. H., Tan Y. P., Kwan, A. K. H., Chen, H. Y., 2019. Recycling of marble dust as paste replacement for improving strength, microstructure and eco-friendliness of mortar, Journal of Cleaner Production, 55-56.

Marras, G., Careddu, N., Internicola, C., Siotto G., 2010. Recovery and reuse of marble powder by-product, Global Stone Congress Spain, 2-5.

Okubay, M., Kök, B. V., Yardım, M. S., Yılmaz, M., 2018. Agrega olarak mermer atığı kullanımının bitümlü sıcak karışımların nem hasarı üzerindeki etkisi, *BAUN Fen Bil. Enst. Dergisi*, 20(2): 495-507.

Öntürk, K., Fırat, S., Vural, I., Khatib, J. M., 2014. Uçucu Kül ve Mermer Tozu Kullanarak Yol Altyapısının İyileştirilmesi, *Journal of Polytechnic* Cilt:17(1):35-42.

Öztürk, M. 2018. Mermer kesiminden kaynaklanan çevre kirliliği ve önlemleri, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.

Saini, P., Patil D. V., Powar, S., 2018. Review on ıntegration of solar air heaters with thermal energy storage, *Applications of Solar Energy,* 163-186.

Salihoğlu, N. K., 2018. Yenilenebilir enerji ile arıtma çamuru kurutma sistemi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi,* 23 (1): 41 – 50.

Saxena, A., 2015. A Review of Recent Patents on Solar Air Heaters, *Recent Patents on Engineering,* 9, 2-20.

Sofuoğlu, S.D., Ordu, M., Aykaç, E., Çelikbaş, S., 2013. Mermer ve traverten tozunun ahşap üst yüzey işlemlerinde kullanımının parlaklık ve pürüzlülüğüne etkisi, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 30: 1302 – 3055.

Soydan, A. M., Sarı, A., Akdeniz, R., 2018. Bilecik Yöresi Mermer Atıklarının "Fiber-Sement" Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması, *Iğdır Univ. J. Inst. Sci. & Tech*. 20188(2), 191 – 199.

Taşpolat, L. T., Zorluer İ., 2009. Reuse of waste marble dust in the landfill layer, International symposium on sustainable development, Sarajevo, Bosnia, Uluslararası tam metin bildiri.

Timur, M., Kılıç, H., 2013. Mermer atıkları kullanılarak üretilen otomotiv fren balatasının sürtünme katsayısının farklı fren balataları ile karşılaştırılması, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi,* 19 (1): 10-14.

Tiwari, A., 2016. A review on solar drying of agricultural produce, *Journal of Food Processing & Technology,* 7-9.

Yazıcıoğlu, H., Kara C., 2017. Betonda atık mermer tozu kullanımının karbonatlaşmaya etkisi, *Journal of Polytechnic*, 2017; 20 (2): 369-376.

Yeşil, E. 2011. Atık çamur dezentegrasyon yöntemlerinin çamur minimizasyonu açısından değerlendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi,* İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

Zorluer, İ., Gücek, S., 2019. Şişen killerin mermer tozu katkı maddesiyle stabilizasyonu, International Symposium on Innovations in Civil Engineering and Technology, paper ID:309.

EK 1 Sektör Temsilcileriyle Yapılan Görüşmeler için Hazırlanan Formlar

T.C.

BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ

MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

MERMER ÇAMURUNUN GÜNEŞ HAVA ISITICILI SİSTEMLERLE KURUTULARAK GERİ KAZANIM POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI KONULU YÜKSEK LİSANS TEZİ
SAHA ÇALIŞMASI

Nüfusun devamlı artışına paralel olarak artan tüketim anlayışı, sınırlı olan hammadde kaynaklarının hızla azalmaya başlaması sonucu mevcut kaynakların daha ekonomik biçimde kullanılabilirliği önem kazanmıştır.

Mermer günümüzde özellikle mermer tozu olarak çeşitli sanayi dallarında katkı veya dolgu maddesi olarak ya da ana hammadde olarak kullanılmaktadır. Mermer blok ve plakalarının kesilmesi ve parlatılması sırasında ortaya çıkan mermer tozu ve mermer çamuru miktarı oldukça yüksektir. Bu kirleticiler çevreyle uyumlu yönetilmez ve geri kazanılmazsa çoğu atık olarak kalmakta ve çevre kirliliğine neden olmaktadır. Mermer tozu ocaklardan patlatma yöntemiyle özel olarak elde edilen moloz büyüklüğündeki mermer parçalarının kırılıp öğütülmesi ve mermer blok/plakalarının kesimi sonucu oluşmaktadır. Mermer üretimi esnasında ciddi miktarlarda oluşan mermer tozu, işleme tesislerinde kesim makinelerinin su ile kullanımı sırasında oluşan sulu mermer tozu-mermer çamuru şeklinde oluşmaktadır.

Mermer tozunun özel olarak hazırlanıp kullanıldığı hemen hemen tüm alanlarda mermer tozu ve çamurunun değerlendirilme olanağının olduğu yapılan yüksek lisans tez çalışması kapsamında incelenen yerli ve yabancı literatür çalışmalarında görülmüştür.

Bu doğrultuda mermer tozu atıklarının oluştuğu işletmelerde özellikle kesim aşamasında oluşan mermer çamurunun alternatif hammadde ve yan ürün kullanımı için kurutma amaçlı ön işlem gerektirdiği sonucuna ulaşılmıştır. Bu amaçla tasarlanan güneşle kurutma esaslı sistem üzerinde deneyler yapılmış, kurutma verimi incelenerek değerlendirilmeler yapılmıştır. Mermer çamurunun kurutulması sonucu elde edilen mermer tozlarının başlıca inşaat sektöründe (yol onarım çalışmalarında dolgu malzemesi şeklinde, çimento, beton, tuğla, gaz beton, seramik, yapı kimyasallarında katkı maddesi olarak), orman ürünleri sektöründe yonga levha ve kağıt üretiminde, otomotiv sektöründe, petrol ürünleri sektöründe (asfalt üretiminde), cam, plastik, boya ve yem endüstrilerinde kullanıldığına yönelik ulusal ve uluslararası çok sayıda bilimsel çalışma mevcuttur.

"Mermer Çamurunun Güneş Hava Isıtıcılı Sistemlerle Kurutularak Geri Kazanım Potansiyelinin Araştırılması" konulu tez çalışması kapsamında atığın oluştuğu mermer sektörü ve atık kullanım potansiyelinin bulunan sektör işletmecilerine ulaşılarak anket uygulamasının gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Bu sayede sektörün mevcut durumu, ihtiyaçlar ve geri kazanım uygulamalarına karşı yaklaşımın belirlenmesine yönelik tez çalışmasına katkı sunacak verilerin toplanması hedeflenmektedir.

MERMER ÇAMURUNUN GÜNEŞ HAVA ISITICILI SİSTEMLERLE KURUTULARAK GERİ KAZANIM POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI KONULU YÜKSEK LİSANS TEZİ ÇALIŞMASI
MERMER SEKTÖRÜ ATIK ÜRETİCİ FORMU

I. FİRMA BİLGİLERİ

İl:

Anketi Yanıtlayanın Firmadaki Görevi:

Tarih:

İşletmeye Alınış Tarihi:

İşletme Alanı (m^2):

Çalışan Sayısı:

II. ÜRETİM BİLGİLERİ

Ürünün Adı	Üretimde Kullanılan Ham Madde	Üretimde Kullanılan Yardımcı Maddeler	Üretim Miktarı	Birim

Üretimde Kullanılan Prosesler:

Üretimde Oluşan Yan Ürünler:

III. ATIK BİLGİLERİ

Atık Türleri:

Atık Miktarı: (Özellikle mermer çamuru ve toz atıklarının yıllık bazda miktar verileri istenmektedir)

Bertaraf Yöntemi:

Çevre Yönetim Sistemi:

IV. DİĞER SORULAR

Mermer sektöründe yaşanan sıkıntılar nelerdir? Beklentileriniz ve çözüm/iyileştirme öneriliniz nelerdir?

Pazar Bilgisi (Nereye satış yapılıyor? İhracat yapılıyor mu? Başka potansiyel satış alanları var mıdır? Varsa ve yapılmıyorsa sebebi nedir?)

Tez konusu mermer yan ürünlerinin ve/veya atıklarının üretimde yeniden kullanım potansiyeline ilişkin görüşleriniz nelerdir?

Mermer atıklarının yönetimine ilişkin yaşanan sorunlar nelerdir?

Sizce uygun bertaraf yönetimi nasıl olmalıdır?

V. GÖRÜŞME NOTLARI

MERMER ÇAMURUNUN GÜNEŞ HAVA ISITICILI SİSTEMLERLE KURUTULARAK GERİ KAZANIM POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI KONULU YÜKSEK LİSANS TEZİ ÇALIŞMASI
MERMER SEKTÖRÜ ATIK KULLANICI FORMU

VI. FİRMA BİLGİLERİ

İl:

Anketi Yanıtlayanın Firmadaki Görevi:

Tarih:

İşletmeye Alınış Tarihi:

İşletme Alanı (m^2):

Çalışan Sayısı:

VII. ÜRETİM BİLGİLERİ

Ürünün Adı	Üretimde Kullanılan Ham Madde	Üretimde Kullanılan Yardımcı Maddeler	Üretim Miktarı	Birim

Üretimde Kullanılan Prosesler:

Üretimde Oluşan Yan Ürün ve Atıklar:

Atık Yönetimi Bilgileri:

Çevre Yönetim Sistemi Bilgileri:

VIII. ATIK KULLANIMI BİLGİLERİ

Üretimde Kullanılan/ Kullanımı Uygun Atık Türü:

a) Mermer çamuru

b) Mermer tozu

c) Her ikisi

Üretimde Kullanılan/ Kullanımı Uygun Atık Miktarı (yıllık):

Pazar Bilgisi (Nereye satış yapılıyor? İhracat yapılıyor mu? Başka potansiyel satış alanları var mıdır? Varsa ve yapılmıyorsa sebebi nedir?)

IX. DİĞER SORULAR

Tez konusu mermer yan ürünlerinin ve/veya atıklarının üretimde farklı sektörlerde yeniden kullanım potansiyeline ilişkin görüşleriniz nelerdir?

Kendi sektörünüzle kullanımının uygun olması halinde üretimde hangi madde(ler) yerine kullanılabilir?

Mermer atıklarının (mermer çamuru ve toz atıkları), üretiminizde kullanılmasının uygun olması halinde ön işlem (kurutma, öğütme vb.) gerektirir mi?

Üretimde uygun kullanım prosesi /aşaması ve kullanım oranı nedir/ne olabilir?

Kendi sektörünüzle kullanımının uygun olması halinde deneme üretimi için yaklaşımınız nasıl olur/pilot üretim yapar mısınız?

X. GÖRÜŞME NOTLARI