

T.C.
ISPARTA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

MERMER ATIKLARININ PARKE TAŞI ÜRETİMİNDE
AGREGA OLARAK KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI

Bilgen AKKUŞ

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Ayşe BÜYÜKÜNSAL

ISPARTA-2024

© 2024 [Bilgen AKKUŞ]

ETİK BEYANI

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak ve bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın hazırladığım bu tez çalışmasında;

Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde ve ortaya çıkan sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

26/01/2024

Bilgen AKKUŞ

.....

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL ÇERÇEVE	6
2.1. Parke Taşı.....	6
2.1.1. Parke taşı özellikleri ve kullanım alanları	8
2.1.2. Parke taşı üretimi.....	11
2.1.3. Agregası	14
2.1.4. Beton	17
2.1.5. Taze beton özellikleri	21
2.1.6. Sertleşmiş betonun özellikleri	22
2.2. Atık Yönetimi ve Sürdürülebilirlik	23
2.2.1. Atıkların oluşumu	27
2.2.2. Atıkların çevresel etkileri	28
2.2.3. Atıkların geri kazanım çalışmaları	29
2.3. Mermer	37
2.3.1. Mermer tanımı ve özellikleri.....	38
2.3.2. Mermer üretimi	40
2.3.3. Mermerin kullanım alanları	44
2.4. Literatür Özeti	46
3. MATERYAL VE YÖNTEM	51
3.1. Materyal	51
3.1.1. Mermer agregası	51
3.1.2. Çimento	51
3.1.3. Deney numunelerinin hazırlanması.....	52
3.2. Deney Yöntemleri	53
3.2.1. Yarmada çekme dayanımı deneyi	54
3.2.2. Su- Tuzlu su emme deneyi.....	55
3.2.3. Aşınma direnci deneyi.....	55
3.2.4. Basınç dayanımı deneyi	56
3.2.5. Elastisite modülü tayini.....	57
4. BULGULAR	59
4.1. Yarmada Çekme Dayanımı Bulguları.....	59
4.2. Su-Tuzlu Su Emme Bulguları	61
4.3. Aşınma Direnci Bulguları	62
4.4. Basınç Dayanımı Bulguları	64
4.5. Elastisite Modülü Tayini Sonuçları.....	66
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	67
KAYNAKLAR	69
EKLER.....	74
EK A. Çizelgeler	75

	Sayfa
EK B. Şekiller	76
ÖZGEÇMİŞ	82



ÖZET

MERMER ATIKLARININ PARKE TAŞI ÜRETİMİNDE AGREGA OLARAK KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI

Bilgen AKKUŞ

**Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ayşe BÜYÜKÜNSAL

Bu çalışmada mermer fabrikası ve atölyelerinde oluşan atık mermerlerin, beton kilitli parke taşlarında agrega olarak kullanılmasının uygun olup olmadığı incelenmiştir. Beton harcında Portland çimento ve şebeke suyu kullanılmıştır. Aynı zamanda beton karışımlarında çapı 8 mm'yi geçmeyen doğal agrega ile çapı 5 mm'yi geçmeyen atık mermer parçaları agrega olarak değerlendirilmiştir. Deneyler sırasında Karayolları Teknik Şartnamesinden faydalanılmıştır. Beş farklı (%20 %40,%60 ,%80 ve %100) karışım oranında toplamda 60 adet beton parke taşı ve buna ilave olarak 20 adet bir kenarı 10 cm olan küp numuneler hazırlanmıştır. Numunelerin yarısı tuzlu suda yarısı da normal suda 28 gün oda sıcaklığında bekletilerek priz aldırılmıştır. Beton parke taşı numunelerine su emme oranını belirleme deneyi, aşınma direnci deneyi, yarmada çekme dayanımı deneyi uygulanmıştır. Küp numunelere ise basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. Su emme oranını belirleme deneyi, aşınma direnci deney verilerinin şartnamede bahsi geçen limitlerin içerisinde kaldığı ve basınç dayanımının ise rahat bir şekilde standartları sağladığı görülmüştür. Yarmada çekme dayanımı deneyinin sonuçları incelendiğinde ise %20, %40 ve %60 oranında mermer agregası bulunan numunelerin yeterli dayanıma haiz olduğu; bunun yanında %80 ve %100 oranında hazırlanan atık mermer agregası numunelerinin ise dayanımının yetersiz olduğu görülmüştür. Sonuç olarak beton parke taşlarında atık mermerlerin agrega olarak %60 oranına kadar kullanılabileceği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mermer atık, Beton parke, Sürdürülebilirlik, Geri dönüşüm

2024, 82 sayfa

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE USE OF MARBLE WASTE AS AGGREGATE IN COFFING STONE PRODUCTION

Bilgen AKKUŞ

**Isparta University of Applied Sciences
The Institute of Graduate Education
Department of Civil Engineering**

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Ayşe BÜYÜKÜNSAL

In this study, the use of waste marble as aggregate in concrete interlocking paving stones was examined. Natural aggregate with a diameter not exceeding 8 mm and waste marble pieces with a diameter not exceeding 5 mm were used as aggregate in concrete mixtures. The Highways Technical Specification was used during the experiments. A total of 60 concrete paving stones in five different mixing ratios (20%, 40%, 60%, 80% and 100%) and an additional 20 cube samples with a side of 10 cm were prepared. Half of the samples were kept in salt water and the other half in normal water for 28 days to allow them to set. Water absorption rate determination test, abrasion resistance test, and tensile strength test in cutting were applied to concrete paving stone samples. Compressive strength tests were performed on cube samples. It was observed that the water absorption rate determination test and abrasion resistance test data remained within the limits mentioned in the specification and the compressive strength easily met the standards. When the results of the splitting tensile strength test were examined, it was seen that the samples containing 20%, 40% and 60% marble aggregate had sufficient strength; In addition, it was observed that the strength of the waste marble aggregate samples prepared at 80% and 100% was insufficient. As a result, it has been determined that waste marble can be used as aggregate in concrete paving stones at a rate of up to 60%.

Anahtar Kelimeler: Marble waste, Concrete paving, Sustainability, Recycle

2024, 82 pages

TEŞEKKÜR

Tezimin yürütülmesinde bilgi birikimi, tecrübesi ve hoşgörüsü ile çalışmaya yön veren ve yardımını esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Ayşe BÜYÜKÜNSAL'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bu tez çalışmasında değerli vaktini benden esirgemeyen, yardımcı olan ve her türlü sorumu cevaplayan Sayın Doç. Dr. Nihal Arda AKYILDIZ, Dr. Ali AKKUŞ ve Öğr. Gör. Serdar KESKİN'e teşekkür ederim.

Konu ile ilgili bilgi ve becerileri edinmemi sağlayan, buna ilave olarak tezimde uyguladığım deneylerin yapımı aşamasında her türlü imkânı bana sunan Özkul Beton Elemanları A.Ş. yöneticilerine ve özellikle Sayın Ahmet ÖZTÜRK'e teşekkürü bir borç bilirim.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Bilgen AKKUŞ
ANKARA,2024

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Kilitli parke çeşitleri	7
Şekil 2.2. Beton parke imalat makinesi.....	12
Şekil 2.3. Beton kilit parke taşı üretim makinesi	13
Şekil 3.1. Deney hazırlıkları.....	53
Şekil 3.2. Laboratuvar ortamı	54
Şekil 3.3. Yarmada çekme dayanımı deneyi	55
Şekil 3.4. Aşınma direnci deneyi	56
Şekil 3.5. Basınç dayanımı deneyi	57
Şekil 4.1. Yarmada çekme dayanımı deney sonuç grafiği	60
Şekil 4.2. Su emme deney sonuç grafiği	62
Şekil 4.3. Aşınma direnci deney sonuç grafiği	63
Şekil 4.4. Basınç dayanımı deney sonuç grafiği	65
Şekil 4.5. Elastisite modülü grafiği	66
Şekil B.1. Belediye beton parke taşı alım teknik şartnamesi	76
Şekil B.2. Beton kilit parke taşı üretim tesisi planı	77
Şekil B.3. Kilitli parke üretimi tesisinin üretim şeması	78
Şekil B.4. Kilit parke üretim fabrikası	79
Şekil B.5. Kilit parke üretim makineleri	80
Şekil B.6. AB atık mevzuatı	81

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Kilitli parke taşı boyutları	6
Çizelge 2.2. Kalsiyum karbonat ve silis kumu için malvern analiz değerleri.....	16
Çizelge 2.3. Silis kumu kimyasal analiz	17
Çizelge 2.4. Silis kumu fiziksel analiz değerleri.....	17
Çizelge 3.1. Deneyde kullanılan malzeme miktarları	52
Çizelge 4.1. Yarmada çekme dayanımı deneyi sonucu.....	59
Çizelge 4.2. Su emme deneyi sonuçları	61
Çizelge 4.3. Aşınma direnci deneyi sonuçları.....	62
Çizelge 4.4. Basınç dayanımı deneyi sonuçları	64
Çizelge 4.5. Basınç dayanımı ve elastisite modülü.....	66
Çizelge A.1. Karayolu Teknik Şartnamesi (2013) Prefabrik beton parke numunelerine yapılacak deneyler ve uygunluk kriterleri	75

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AB	Avrupa Birliği
BM	Birleşmiş Milletler
CEM	Çimento Sınıfları (Cement)
ÇŞİDB	Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı
EN	Europeane Norm (Avrupa Standartları)
GDAB	Geri Dönüştürülmüş Agregalı Beton
İMMİB	İstanbul Maden ve Metaller İhracatçı Birlikleri
KBHA	Kuru Birim Hacim Ağırlık
KBPB	Kilitli Beton Parke Blokları
MİGEM	Maden İşleri Genel Müdürlüğü
MPa	Megapaskal
MT	Mermer Tozu
MTA	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
NB	Normal Beton
SI	Uluslararası Birimler Sistemi (Système international)
TS	Türk Standartları
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UK	Uçucu Kül
YDD	Yaşam Döngüsü Değerlendirme
σ	Gerilme, MPa (N/mm ²)
ϵ	Birim Deformasyon

1. GİRİŞ

Modern dünyanın öne çıkan sorunlarının başında çevre meselesi gelmektedir. Dünya, orman tahribatı, küresel ısınma ve doğa kirliliği gibi önemli çevresel problemlerle karşı karşıyadır. Çevresel sorunlar arasında, doğal kaynakların aşırı kullanımı ve bunların gelecek nesillere yeterli miktarda devredilememesi öne çıkmaktadır. Bu bağlamda sürdürülebilirlik konusu önemli bir hale gelmiş, kaynakların yetersizliğini gidermek için atıkların geri dönüştürülebilir şekilde kullanılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Özellikle geri dönüştürülebilen malzemelerin, düşük enerji sarfıyatıyla, farklı şekillerde kullanılması, sürdürülebilir kalkınma ilkesine olumlu katkılarda bulunacaktır (Kaçar, 2018).

Agrega, su, çimento ve bazen katkı malzemelerinin birleşimiyle oluşturulan bir kompozit malzeme olan beton, Romalılardan bu yana kullanılmaktadır. Joseph Aspdin'in 1824'te Portland Çimentosunu bulmasıyla başlayan süreç, betonun vazgeçilmez bir yapı malzemesi haline gelmesini sağlamıştır. Betonarme yapılar 1800'lerin sonlarına doğru ortaya çıkmış, 1930'larda ise öngörülmesi beton yapı sistemleri geliştirilmeye başlanmıştır. Özel parke makinelerinde kalıplar yardımıyla üretilen kilitli beton parke blokları hazır betonla benzer karışımlara sahip bir yapı malzemesidir. Bu blokların tercih edilme nedenleri arasında kolay işçilik ve nakliye, her türlü iklim koşullarında kullanılabilme, basit onarım ve bakım ve özellikle diğer kaplama malzemelerine nazaran daha ekonomik olma avantajları bulunmaktadır. Özellikle belediyeler, siteler, park ve bahçelerin çevre düzenleme işlerinde kullanılan kilitli beton parke blokları, son yıllarda önemini giderek artırmıştır (Çelik vd., 2016).

Parke taşları, özellikle kentleşmenin gelişmesiyle ağır taşıt trafiğinin bulunmadığı yollarda ulaşım ve peyzaj amaçlı olarak kullanımı her geçen gün artan doğal veya yapay olarak elde edilen zemin kaplama malzemesidir (Filiz vd., 2010).

Günümüzde Türkiye'de yer döşeme ve kaplama malzemesi olarak tercih edilen Kilitli Beton Parke Blokları (KBPB), gelişmiş ülkelerde de yaygın bir kullanıma sahiptir. KBPB, çimento, su ve agreganın birleştirilmesiyle oluşturulan ve asfalt, beton ve diğer kaplamalara alternatif olarak kullanılan ideal bir malzemedir. Bu tercihin sebepleri şunlardır: özel ağır araç ve donanım duyulan ihtiyaç olmaksızın her türlü iklim koşulunda döşenebilmesi, kolay ve ekonomik bir şekilde onarılabilmesi, su ve don olaylarından etkilenmeme özelliği, kış şartlarında kaymayı önleme, nakliyatının farklı araçlarla gerçekleştirilebilmesi, ekolojik dengeye katkı sağlama (yağmur sularının toprağa ulaşması), blokların tekrar kullanılabilir olması ve asfalt ile betona göre daha uygun maliyetli ve ekonomik bir şekilde üretilebilmesi gibi özellikler sayılabilir (Tekmen, 2006).

Çevre duyarlılığının arttığı günümüzde, mermer atıklarının plansızca bertaraf edilmesi ve bu atık depolama alanlarının giderek genişlemesi, toplum nezdinde olumsuz bir algı oluşturmaktadır. Hem maden işletmelerinde hem de üretim tesislerinde mermer üretimi devam ettiği sürece, bu atıkların miktarının artması kaçınılmaz bir gerçektir. Oluşan büyük parça, plaka ve ince toz halindeki bu doğal taş atıklarının değerlendirilmesi konusunda bulunabilecek çeşitli alternatifler, sadece ülke ekonomisine katkı sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda çevresel sorunu ortadan kaldıracaktır. Ayrıca, hızla büyüyen inşaat sektörünün agrega talebinin sürekli arttığı bir gerçektir. Betonarme yapıların inşasında kullanılan betonun büyük bir kısmını oluşturan agrega ihtiyacı, gün geçtikçe yükselmektedir. Bu talebin karşılanması için mermer parça atıklarının alternatif bir kaynak olarak kullanılması, inşaat sektörünün gereksinimlerine cevap verirken, aynı zamanda doğal taş sektörünün karşılaştığı önemli bir atık sorununu çözmeye katkıda bulunacaktır (Arsoy vd., 2019).

Türkiye, mermer yataklarının en zengin olduğu Alp kuşağında konumlanan, 5.1 milyar m³ – 13.9 milyar ton potansiyel mermer rezervine sahip bir ülkedir. Bu miktar, tahmini olarak dünyada yer alan rezervlerin %33'üne karşılık gelmektedir, bu da Türk doğal taş sektörünün küresel arenadaki önemini vurgulamaktadır. Çeşitlilik, rezerv zenginliği, sektör deneyimi, bol ham madde kaynağı, deniz taşımacılığında lojistik avantajlar, dinamik sektör yapısı, yeni teknolojilerin kullanımı ve geniş renk

skalası gibi faktörlerle Türk doğal taş sektörü, dünya pazarında kayda değer bir konuma sahiptir (TCTB, 2021). Mermer işletmelerinin üretim kapasitesine bağlı olarak ortaya çıkan mermer çamuru ve parça mermer atıkları, çevreye olan olumsuz etkileriyle dikkat çeker. Bu atıkların tarım arazilerine veya dere kenarlarına bırakılması, doğal çevre ortamını tahrip etmektedir. Ayrıca, mermer fabrikalarında atıkların depolanması için geniş arazi gereksinimi, önemli bir maliyet unsuru oluşturmaktadır (Erdemonar, 2022).

İnşaat endüstrisi, toplam doğal kaynakların yarısından ve kullanılan arazinin yüzde 12'sinden sorumlu olup, tüketilen enerjinin yüzde 42'sini, hammaddenin yüzde 30'unu ve su kaynaklarının yüzde 25'ini absorbe etmektedir. Sürdürülebilir çevre hedefleri doğrultusunda, sınırlı kaynakların kullanımının azaltılması, inşaat sektöründe diğer sektörlerde olduğu gibi öne çıkan bir konudur (Çolakoğlu, 2022).

Atık yönetimi, çevre koruma politikaları arasında büyük bir öneme sahiptir. Üretilen atıkların çevre ve insan sağlığına olan riskini ortadan kaldırarak, ekonomik bir kaynağa dönüştürülmesini amaçlayan atık yönetim stratejileri, dünya genelinde olduğu gibi ülkemizde de önemli bir politika haline gelmektedir. Sanayileşme, hızlı kentleşme ve nüfus artışı, çevresel sorunların artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle sanayide çevresel önlemlerin alınması ve çevresel bilincin oluşturulması artık kaçınılmaz bir zorunluluk haline gelmiştir. Bu önlemler için gerekli yatırımların yapılmasıyla hem çevre korunmuş olacak hem de uzun vadede sanayi kuruluşlarına fayda sağlanacaktır (Keskin ve Şahmaran, 2018).

Hızlı endüstrileşme ve şehirleşme, buna paralel olarak artan nüfus, gelişen teknoloji ve inşaat sektöründeki ilerlemeler nedeniyle, katı atık kontrolü ve yönetimi, modern toplumların karşılamak durumunda olduğu önemli bir sorun haline gelmiştir. Katı atıklar, sınırlı doğal kaynakların azalması ve çevresel kirlilik gibi bir dizi çevresel ve ekonomik zorluğa sebep olmaktadır (İmiş, 2022).

Mermer atıklarının insan eliyle geri dönüşümleri sağlanarak, ekonomiye kazandırılması önemli bir çözüm olarak gözükmektedir. Bu çalışmada atık

mermerlerin, beton kilitli parke taşlarında agrega olarak kullanılması yöntemi ile yeniden işlevsel hale getirilmesi, kısmen de olsa bu atıkların yönetilerek sürdürülebilirliğinin sağlanması amaçlanmıştır.

Mermer atıklarının beton parke taşı içerisinde agrega olarak kullanılmasına yönelik yapılan araştırmada öncelikli olarak; Kurumsal Çerçeve bahsinde; parke taşının özellikleri, üretimi ve kullanım alanlarına değinilmiştir. Ayrıca parke taşı üretiminde kullanılan agrega ve betonun özellikleri, üretimi ve kullanım alanlarından da bahsedilmiştir. Kurumsal Çerçeve başlığı altında mermer ile atık yönetimi ve sürdürülebilirliği hakkında araştırmalar yapılmış olup çalışmaya konu olan alanlarda atıkların çevresel etkileri ve geri kazanım çalışmaları incelenmiştir. Sonrasında literatür taraması yapılmış olup bu ve benzer konularda yapılan çalışmalardan kısaca bahsedilmiştir. Materyal ve Yöntem başlığı altında, mermer atölye ve fabrikalarında meydana gelen atık mermerlerin, beton parke taşlarında agrega olarak kullanımının uygun olup olmadığı incelenmiştir. Beton harcında Portland çimento ve şebeke suyu kullanılmıştır. Aynı zamanda beton karışımlarında çapı 8 mm'yi geçmeyen doğal agrega ile çapı 5 mm'yi geçmeyen atık mermer parçaları agrega olarak değerlendirilmiştir. Dört ayrı deneye maruz bırakılan beş farklı (%20 %40,%60, %80 ve %100) karışım oranında toplamda 60 adet beton parke taşı ve buna ilave olarak 20 adet bir kenarı 10 cm olan küp numuneler hazırlanmıştır. Bu şekilde toplamda 80 adet numune hazırlanmıştır. Numunelerin yarısı tuzlu suda yarısı da normal suda 28 gün oda sıcaklığında bekletilerek priz aldırılmıştır.

Ülkemiz de hava şartlarından kaynaklı buzlanmayı engellemek için tuzlama çalışması yapılmaktadır. Ayrıca sahil kenarlarında beton parke taşı kullanım oranı gün geçtikçe artmaktadır. Bu sebeple çalışmada beton parke taşlarının, denizden, yağmur ve çeşitli çevresel etkilerden kaynaklanan tuz, asit ve farklı kimyasallara maruz kalması durumunda nasıl etkileneceği incelenmiştir. Bu tür doğal etkilerin ikamesi için numunelerin yarısı tuzlu suda bekletilerek deneyler yapılmıştır. Numunelere su emme oranını belirleme deneyi, aşınma direnci deneyi, yaramada çekme dayanımı deneyi ve basınç dayanımı deneyi uygulanmıştır. Su emme oranını belirleme deneyi, aşınma direnci deneyi ve basınç

dayanımı deneyi verilerinin şartnamede bahsi geçen limitleri sağladığı görülmüştür. Yarmada çekme dayanımı deneyinin sonuçları incelendiğinde ise %20 ,%40 ve %60 oranında mermer agregası bulunan numunelerin yeterli dayanıma haiz olduğu; bunun yanında %80 ve %100 oranında hazırlanan atık mermer agregalı numunelerin ise dayanımının yetersiz olduğu görülmüştür. Buna ilave olarak basınç dayanımı deney verileri kullanılarak elastisite modülü hesaplanmıştır.

Sonuç olarak beton parke taşlarında atık mermerlerin agrega olarak %60 oranına kadar kullanılabileceği tespit edilmiştir. Yapılan deneylerde TSE'nin ilgili standartları ve Karayolu Teknik Şartnamesi (2013) Prefabrik beton parke numunelerine yapılacak deneyler ve uygunluk kriterlerinden faydalanılmış olup bu kriterler ekler başlığı altında Çizelge A.1. de verilmiştir.

2. KURAMSAL ÇERÇEVE

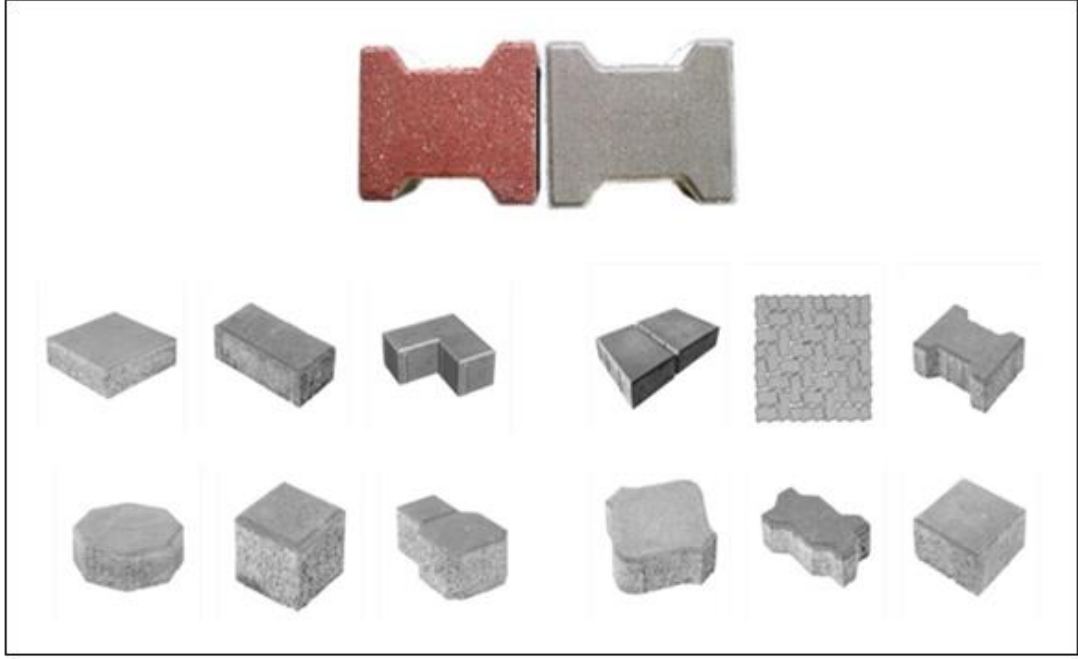
Kuramsal çerçevenin incelenmesinde günümüzde sıkça kullanılan beton kilit parke taşının özellikleri, üretimi ve beton bileşenlerini oluşturan malzemeler incelenecektir. Bunun yanı sıra atık yönetimi ve sürdürülebilirlik konusu ele alınacak olup, atık yönetimi, atıkların sürdürülebilirliği ve akabinde mermer özelinde atıkların geri dönüşüme kazandırılması hususunda bilgi verilecektir. Bir diğer konu olarak çalışmayı kapsayan mermerin, üretimi, özellikleri kullanım alanları ile ilgili temel bilgiler verilecektir. Sonrasında literatür çalışmalarının özetlerinden bahsedilecektir.

2.1. Parke Taşı

Çimento, su, agrega ve gerektiğinde katkı maddelerinin belirli oranlarda karıştırılması ile elde edilen beton kilitli parke taşı; beton parke makinesi aracılığıyla üretilen yapı elemanlarıdır. Beton parke elemanları, farklı tiplerde ve ebatlarda fabrikasyon olarak üretilir ve beton parke kaplamaların yapımında son yıllarda yaygınca kullanılır. Şehir içi yolların (ağır taşıt trafiğinin olmadığı veya yoğun olarak kullanılmayan cadde ve sokaklarda), yaya yollarında, kaldırımlarda, site içi bağlantı yollarında, rekreasyon alanlarında vb. geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu çalışmada, "I" şeklindeki beton kilit taşı, yani kilitli parke taşı (Aşık Taşı) kullanım alanı ve maruz kaldığı koşullar açısından incelenecektir. Çizelge 2.1'de yapay beton parke taşlarının ebatları, Şekil 2.1'de ise çeşitli şekil ve desenleri verilmiştir (Açıkgöz, 2008).

Çizelge 2.1. Kilitli parke taşı boyutları

BOYUTLAR (cm.)			Adet/m ²	Ağırlık	
Genişlik	Uzunluk	Yükseklik		kg/adet	Kg/m ²
16.3	19.8	10	36	5.8	210
16.3	19.8	8	36	4.8	173
16.3	19.8	6	36	3.8	135



Şekil 2.1. Kilitli parke çeşitleri

Kilitli beton parke taşının kullanım alanı sürekli olarak genişlemekte ve gün geçtikçe daha fazla tercih edilmektedir. Aşınmaya karşı direnci, yüksek mukavemeti ve kolay uygulanabilirliği sayesinde bu taşlar, çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Kilitli parke taşları, özellikle şu alanlarda en çok tercih edilen malzeme olmuştur: şehir içi yolların, kaldırımların, park-bahçelerin, araç park alanlarının ve alışveriş merkezi otoparklarının tasarımında, üretim tesislerinin çevresinde veya yollarında, asfalt döşemenin zor olduğu yollarda vb. Bu yoğun kullanım alanlarında kilitli parke taşı, uzun ömürlü bir kullanım süresi sunarak düşük maliyetli bir yatırım olma özelliğini korumaktadır (Anonim, 2022).

Birçok kamu ve özel kuruluş, kilitli parke tesislerinin pek çok avantajından dolayı bu tesislerin kurulmasına daha fazla önem vermektedir. Özellikle şehir içi yollar ve kaldırımlarda kilitli parke kullanımının getirdiği avantajlar, belediyelerin bu tesislere büyük bir ilgi göstermesine neden olmaktadır. Ayrıca, son zamanlarda apartman ve site çevre düzenlemelerinde de kilitli parke kullanımı giderek artmıştır (Tekmen, 2006).

2.1.1. Parke taşı özellikleri ve kullanım alanları

Şehir içi trafiğinin ve yayaların kullanımının yoğun olduğu bölgelerde, çeşitli boyutlarda ve şekillerde pek çok parke taşı modeli üretilmektedir. Üretilen bu parkelerin belirli bir standartta olması, TS 2824 EN 1338 standardına uygun olması önem arz etmektedir. Bunun yanı sıra kilitli parke taşlarının özelliklerini aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- 1- Muhtelif kalınlıkta (6-8-10 cm), dekoratif ve estetik bir görünüme sahip olduklarından çok çeşitli peyzaj tasarım ve çözümlerine uyum sağlayabilme imkânı sağlarlar.
- 2- Parklar, bahçe ve çeşitli sosyal alanlara rahatça uygulanabilmesinin yanı sıra sağlam ve aşınmalara karşı dayanıklı olma niteliğinden dolayı uzun ömürlüdür.
- 3- Uygulama sonrasında olası problemlerde taşların kolayca sökülüp tekrar yerleştirilebilmesi, bakım ve tadilat kolaylığı sağlamaktadır.
- 4- Uygun maliyetlerle ekonomik ve pratik çözümler sunabilmektedir (Anonim, 2022).

Bu özellikler, kilitli parke taşlarının standartların ötesinde estetik, dayanıklılık ve pratik kullanım sağlayan bir çözüm sunduğunu vurgular.

Parke taşlarının standartları TS 2824 EN 1338’de belirlenmiş olup ürünlerin aşağıdaki kriterleri karşılaması gerekmektedir.

- 1- Yarmada çekme dayanım değeri minimum 2.9 MPa olmalıdır.
- 2- Tek numunede su emme oranı %7 den fazla olmamalı, ortalama %5 olmalıdır.
- 3- Bir numunede don dayanımında kütle kaybı en fazla %3 olmalıdır.
- 4- Çatlak, çukur, boşluk ve pürüzler gözle yapılacak muayenede olmamalıdır.

Ülkemizde çimento ve hazır beton endüstrisinin gelişmiş olması, birçok bölgenin 3 ila 6 aylık bir süre boyunca beton dökümüne elverişli olmaması sebebiyle, bu tesislerin kış aylarında kapalı alanlarda üreteceği prefabrik beton bloklar, yaz aylarında ve hatta yağışın olmadığı her mevsimde yollara döşenebilir.

Kilitli beton parke kaplamaların avantaj ve dezavantajlarını şu şekilde sıralamak mümkün olabilir:

Avantajlar:

1-Fabrikasyon üretim sürecinde, dayanıklılığı artırmak amacıyla yüksek dirençli agrega kullanmak, beton kalitesini artırarak sonuçta mekanik dayanıklılığı yüksek bir kaplama elde etmeyi mümkün kılar.

2-Beton parke elemanları hassas ölçülerde üretilir.

3-Üretimi seri ve yüksek kapasitelidir.

4-Yol kaplamaları hızlı bir şekilde yapıp hemen trafiğe açılabilir.

5-Kaplama işlemi, meteorolojik ortamlardan etkilenmeyen bir yapıya sahiptir.

Tüm hava şartları altında kaplama işlemi gerçekleştirilebilmektedir.

6-Parkelerin birleştirilmesindeki uyumlu girinti ve çıkıntılar, taşıtların frenleme veya hızlanma esnasındaki yatay kayma gerilmelerini zarar görmeden ve etkili bir şekilde iletebilmektedir.

7-Kimyasal maddelere dayanıklıdır ve su, yağ, mazot gibi maddelerden karşı dirençlidir.

8-Alt yapı çalışmaları kolayca gerçekleştirilebilir ve bozulan yüzey kolayca onarılabilir.

9-Farklı renklerde ve çeşitli geometrik şekillerde üretmek mümkündür. Bu özellik, mekânlara çeşitli renk ve desen seçenekleriyle kaplama imkânı tanırken, mekân sınırlarını belirleme, trafik işaretlerini belirleme ve çevresel uyumu sağlama konusunda esneklik sunar. Ayrıca, kendi başına estetik bir öge olarak durabilme özelliği, önemli bir üstünlük ve avantaj olarak kabul edilmektedir.

10-Beton yolların derz dolgularının değişimi ortalama 4-5 yılda bir yapılmalıdır. Asfalt yolların ise olası çatlama, çukurlaşma veya ayrışma kaynaklı bozukluklarının onarımı, daha sık aralıklarda gerçekleştirilmelidir. Ancak kilitli beton parke kaplamaların yapıldıktan sonraki 25 yıl boyunca herhangi bir bakım gerektirmediği gözlemlenmiştir.

11-Üretimin her aşamasında kolaylıkla gerçekleştirilebilen kalite kontrol denetimleri sayesinde yüksek kalite standardına sahip olması, beton kadar mukavemet göstermesi, daha iyi kür şartlarına sahip olması, kademeli inşaatı uygun olması, bakım ve onarım işlemlerinin kolaylığı, ekonomik oluşu ve hızlı imalat avantajları sıralanabilir.

Dezavantajlar:

1-Uygulamada kalifiye bir ekibin gerekliliği ve çalışma hızına bağlı olarak ilerleme hızının sınırlı olması,

2-Tadilat, alt yapı veya üstyapı onarımlarında yine kalifiye bir ekibe ihtiyaç duyulması,

3- Kent ve kırsalda bulunan yollar için son derece elverişli bir kaplama çeşidi olmasına rağmen, şehirlerarası yolların uzunluğu göz önüne alındığında, pratiklik ve ekonomik açıdan uygun olmaması (Açıkgöz, 2008).

Kilitli parke taşı üretiminde kullanılan betonun teknik özellikleri aşağıdaki gibi ifade edilmektedir. Beton, çeşitli dışsal fiziksel ve kimyasal etkenler tarafından etkilenir. Fiziksel etkenler arasında atmosfer koşullarının neden olduğu çözülme - donma, kuruma - ıslanma, kum fırtınaları, aşınma ve taşıt araçlarının etkisi bulunmaktadır. Kimyasal etkenler ise iç ve dış etkenler olarak kategorize edilir. Bu etkenler, beton içinde bulunan malzemelerin kimyasal bileşimindeki standart limit değerlerinin dışında olmasından kaynaklanır. Dış etkenler, betonun çevresindeki dış ortamdan kaynaklanan etkileri içerir; zemin suyu gibi sıvı ortamlar, buz çözücü tuzlar, hava kirliliğine bağlı CO₂ ve SO₂ gazları, endüstriyel katı atıklar gibi etmenlerle ortaya çıkabilir.

Kilit taşı üretiminde kullanılacak malzemelerin seçiminde, güvenlik, ekonomi ve estetik gibi unsurlara özen gösterilmelidir. Kilit taşı üretiminde kullanılacak malzemelerin özellikleri aşağıdaki gibi olmalıdır:

1-Teknolojik Özellikler: Aşınma direnci, şekil değiştirme ve kırılma direnci, çarpma dayanımı, sertlik, yorulma direnci, sünme özellikleri.

2-Fiziksel Özellikler: Birim ağırlık, özgül ağırlık, porozite (boşluk), kompasite (doluluk), su emme, donma-çözülme direnci, geçirimsizlik, rötre ve şişme, kapilarite (kılcal su emme).

3-Mekanik Özellikler: Basınç dayanımı, çekme dayanımı, kesme dayanımı.

4-Geometrik Özellikler: Agregatanelerinin biçimi, yüzey durumu, özgül alan, granülometrik bileşim (Yıldız, 2013).

Kamu İhale Kurumu'nun EKAP üzerinde gerçekleşen bir ihale araştırması sonucunda, bir Kamu kurumuna ait olan "Prefabrik Kilitli Beton Parke Taşı ve

Belediye Bordürü Alımı" ihalesine ait teknik şartnamede aranan kilit parkenin özellikleri aşağıda sıralanmıştır:

1- Beton imalatlar, Türk Standartları Enstitüsü (TSE) standartlarına uygun olmalıdır. Bordür taşları için geçerli olan TSE standardı TS 436 EN 1340, diğer beton imalatları için ise TS 2824 EN 1338'dir.

2- Prefabrik Kilitli Beton Parke Taşları ve Beton Belediye Bordürleri, yüzeylerinde çatlak, pullama veya soyulma gibi bozukluklar göstermemelidir. Ayrıca, donma ve çözücü tuzlara karşı dirençli olmalıdır. Su emme oranı maksimum %5 olacaktır. Bu parke taşları 400 dozlu betondan üretilecek ve içerisinde mıcır bulunduracaktır (Anonim, 2021).

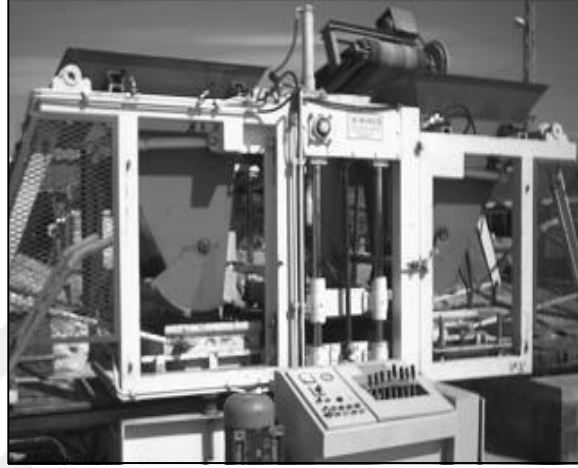
Bahsi geçen ihale ile ilgili bilgiler ekler başlığı altında Şekil B.1 de verilmiştir.

2.1.2. Parke taşı üretimi

Ülkemizdeki parke fabrikalarında, çeşitli ebatlarda ve formlarda kilitli beton parke blokları üretilmektedir. Üretilen bu blokların genişlikleri 190 ila 200 mm arasında değişirken, yükseklikleri 60 ila 100 mm arasında farklılık göstermektedir (Tekmen, 2006). Beton kilit parkeleri; su, çimento, agrega ve gerektiğinde katkı maddelerinin belirli oranlarda karıştırılmasıyla, beton parke makineleri kullanılarak üretilir. İlk aşamada plastik yapıda olan, zamanla çimentonun hidrasyonu sayesinde sertleşen bir yapıdadır. Çimentolar, hidrolik bağlayıcı maddeler olarak işlev görürler ve kendi başlarına veya kum, çakıl, kırma taş gibi malzemelerle karıştırıldıktan sonra su ile birleştirilip hamur haline getirildikten sonra, havada ve suda yavaşça sertleşerek taş halini alırlar. Çimentonun temel bileşenleri kalker, kil, alçı taşı (%3 ile %6 oranında) ve silisli kumdur. Yapı standartlarına uygun çimento kullanılması, beton parke taşlarında olduğu gibi diğer yapı malzemelerinde de genel bir kuraldır. Agregalar, çimento ve su ile birlikte kullanılan kum, çakıl, kırma taş gibi taneli malzemelerdir. Bu malzemeler, doğal veya yapay, kırılmış veya kırılmamış mineral tanelerinin çeşitli boyutlardaki bir karışımını içerirler. Betonun hacminin büyük bir kısmını oluşturan agregalar, betonun dayanıklılığı ve özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Su, betonun sertleşme sürecinde ve sertleştikten sonra zaman zaman veya sürekli olarak betonla temas halindedir. Bu nedenle, beton yapımında kullanılan suyun kalitesi, betona olan etkileri bakımından bilinmelidir. Beton karışım suyu olarak kullanılan suyun içilebilir nitelikte olması tercih edilir, ancak önceden

kullanılmış ve olumlu sonuçlar alınmış tüm sular beton yapımında kullanılabilir (Yıldız, 2013).

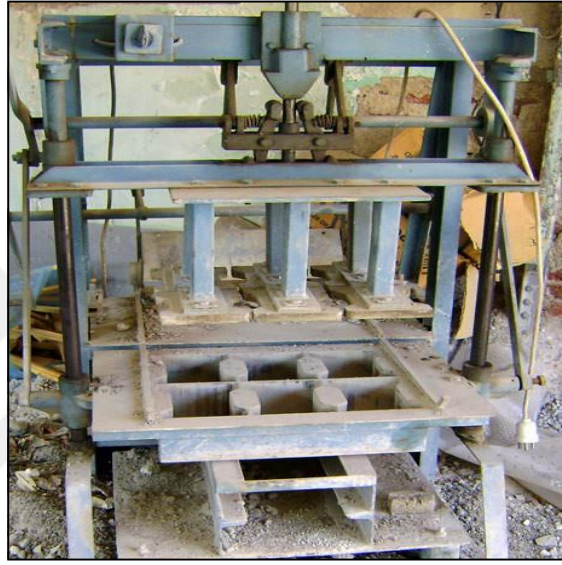
Tekmen (2006), kilitli parke üretimi ile ilgili yaptığı araştırmada; çalışma alanında Şekil 2.2’de gösterilen HPR 620 Beton Parke İmalat Makinesi kullanıldığı belirtilmiştir.



Şekil 2.2. Beton parke imalat makinesi

Makinelerin teknik ve genel özellikleri aşağıda özetlenmiştir. Cihaz, çift hazneli bir yapıya sahiptir ve ikinci hazne, Kilitli Beton Parke Bloğu (KBPB) üzerine renk ve ince film tabakası uygulamaktadır. Makine, ayaksız (çıtasız) tahta üzerine baskı yapabilme özelliğine sahiptir. Hem yarı otomatik hem de tam otomatik çalışma moduna sahiptir Titreşim sistemi üstteki iki adet 2.2 kW motorlu, 5000 dev/dak dönen titreşimi sağlayan donanım içerir. Alt kısımda ise çift milli bir adet titreşim donanımına sahip iki adet 4 kW motor bulunmaktadır. Makinenin genel kapasitesi, genellikle günlük (8 saat) 700 adet baskı yapma yeteneğine sahiptir. Otomatik çalışma modunda bu kapasite %10-15 artabilir. Harcın haznelerine taşınması için konveyör bant sistemi kullanılmaktadır. Tesiste, tasarıma bağlı olarak bir veya iki mikserle besleme yapılabilmektedir. Tek mikserle besleme yapıldığı durumda, sadece CB 250 mikseri kullanılmaktadır. Harcın iki hazneye nakledilmesini sağlayan hareketli bir bant kullanılmaktadır. Üretilen parkeler, kuruma alanına küçük nakliye araçlarıyla taşınmaktadır.

Agrega, su ve imento belirli oranlarda karıştırma tankına gönderilir. Bu tankta harç belirli bir kıvama getirildikten sonra, bantlar aracılığıyla baskı ünitesine aktarılır. Bu ünite de harç, kalıpların bulunduğu alana boşaltılır. Titreşim uygulandıktan sonra 25 tonluk baskı, Kilitli Beton Parke Bloğu üzerine uygulanır. Üretilen parkeler, çıkış kısmından paletle alınır, her palet üzerinde 20 parke bulunmaktadır. Üretilen parkeler, kuruma alanına alınarak yağmurlama işlemine tabi tutulur. Şekil 2.3'te, Beton Kilit Parke Taşı üretim makinesi görölmektedir.



Şekil 2.3. Beton kilit parke taşı üretim makinesi

Ekler başlığı altında bulunan Şekil B.2. ve Şekil B.3'te beton parke üretim tesislerinin şematik gösterimleri yer almaktadır. Ayrıca, Şekil B.4'te Ankara'daki Özkul Beton Elemanları Üretim Fabrikası'nın uydu görüntüsü sunulmuştur. Kilitli parke taşı üretimi için ilk adım, beton harcının hazırlanmasıdır. Beton harcı, parçalanmış küçük taşlar (agrega), imento ve su içermektedir. Elde edilen beton harcı daha sonra kilitli parke formundaki kalıplara dökölür. Bu aşamada, vibrasyon motorları kullanılarak harcın içindeki boşluklar ve hava kabarcıkları ortadan kaldırılır. Bu sayede, parkenin dayanım kuvveti artırılmış olur. Titreşim işlemi tamamlandıktan sonra elde edilen kilit taşı parkeleri kalıplar aracılığıyla taşınarak kurumaya bırakılır (Anonim, 2022). Beton kilitli parke taşlarının üretim aşamalarına göre kullanılan makine örnekleri Şekil B.5'de verilmiştir. Kilitli parke imalatında kullanılan malzemeler; agrega, beton, imento, su ve katkı maddeleri olup bunlarla ilgili bilgiler aşağıda anlatılmıştır.

2.1.3. Agrega

Agrega grubu, beton üretiminde çimento ve su ile birlikte kullanılan malzemeler arasında yer alır. Kum, çakıl, kırmataş gibi taneli malzemelerden oluşan agrega, betonun hacminin yaklaşık %75'ini oluşturur. Bu malzemelerin maliyeti genellikle çimentoya göre daha düşüktür. Bu nedenle, istenilen kalitedeki betonu elde edebilmek şartıyla, mümkün olduğunca fazla miktarda agrega kullanmak, betonun daha ekonomik olmasına olanak tanır. Agrega malzemeleri genellikle sert ve yüksek dayanıma sahip olup, bu özellikleri betonun dayanımını artırarak olumlu yönde etkiler (Coşkun, 2022).

Büyük boyutlu çakıllar ve taşlar, betonda kullanılabilir boyuta getirilmek üzere kırma işlemine tabi tutulur. Üretim tesisinin önemli bir parçası olan kırma ekipmanlarının türü, üretilecek agrega tanelerinin şeklini belirlemede etkilidir. Lamine yapısındaki tortul kayalar, çeneli ve darbeli kırıcılar, yassı taneler üretebilir. Bu tür agregaların aşırı miktarda kullanılması, betonun özelliklerini olumsuz yönde etkileyebilir. Agrega üretim tesisleri, kum, çakıl veya kırma taş üreten olmalarına bakılmaksızın, kırma, temizleme, farklı boyutlara ayırma ve birleştirme işlemlerini gerçekleştirmek için gerekli ekipmanlara sahip olmalıdır (Moghim, 2022).

Coşkun (2022)'a göre, kaliteli bir agrega, temiz, sağlam ve sert olmalıdır. Ayrıca suyun etkisiyle yumuşamamalı, dağılmamalı ve çimentonun bileşenleriyle zararlı bileşikler oluşturmamalıdır. Agrega donatının korozyona karşı korunmasını tehlikeye atmamalıdır. Agrega taneleri mümkün olduğunca küre veya küpe benzemelidir; bu sayede agregalar daha iyi bir şekilde yerleşir. Biçimsiz yani küreden büyük ölçüde farklı geometriye sahip taneler kütle içinde kenetlenir ve bu durum betonun işlenebilirliğini azaltır. Agrega tanelerinin şeklini kayanın yapısı ve kırma işlemleri etkiler. Agregalar, yuvarlak, köşeli, düzensiz, yassı veya uzun olarak tane şekillerine göre sınıflandırılabilir. Agreganın içindeki ince madde miktarı çimentonun agrega ile kurduğu bağı zayıflatır ve aynı zamanda betonun karma su ihtiyacını artırarak taze betonun işlenebilirlik özelliğini olumsuz şekilde etkiler. Fiziksel özellikleri bakımından agregaları ele aldığımızda, agrega incelik modülü, nemi, granülometrisi (tane dağılımı), özgül ağırlığı, kompaktlığı, birim ağırlığı, ilk akla gelenlerdir. Beton üretiminde kullanılacak agregalar için deney numunesi hazırlama ve granülometri

deneyleri sırasıyla TS-707 ve TS-3530 EN-933-1 standartlarına göre yapılmalıdır. Agregaların özgül ağırlıkları, su emme ve nem oranları ise TS EN 1097-6 standartlarına göre hesaplanmalıdır. Tane boyutu bakımından agregaların adlandırılması; iri (çakıl) - 4 mm'den büyük, ince (kum) - 4 mm'den küçük ve karışık (tüvanan)- bu ikisinin karışımıyla meydana gelen agrega şeklindedir. TS 802 standartlarına göre, iri veya kaba olarak tane boyutuna göre sınıflandırılan agrega, akarsu yatağından alınarak elenmiş malzemeler (doğal şekillenmiş) olarak veya taş ocaklarından çıkartılan taşların çeneli kırıcılar vasıtasıyla kırılmasıyla elde edilebilir. Silika veya kalker içeren doğal şekillenmiş malzemenin elenmesi ile edilebilen İnce agrega (kum), taşların kırılması ve öğütme işlemi ile de üretilebilir (Korkut, 2022).

Agregaların özellikleri aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir:

1-Agregaların Fiziksel Nitelikleri: Betonun ana bileşenlerinin %60 ile %80'inin agregalar tarafından oluşturulduğu bilinmektedir.

2-Agregadaki Nem Miktarı: Agreganın birim ağırlığına ve özgül ağırlığına su miktarının etkisi vardır. Agregada fazla boşluk olması, donma ve çevresel etkilere karşı dayanıklılığı azaltabilir. Kum ve çakıl için su emme yüzdesinin limiti %1'dir. Yüksek su emme yüzdesine sahip agreganın betonda kullanılması, betonun dayanımını ve dayanıklılığını azaltabilir.

3-Birim Hacim Ağırlığı: Normal beton agregalarının birim ağırlığı 1300 - 1850 kg/m³ arasında değişir. Agreganın sıkışma oranı arttıkça, basınç dayanımı ve dış etkilere karşı direnci de artar.

4-Özgül Ağırlık: Betonda kullanılan agreganın özgül ağırlığının genellikle 2.2 ile 2.7 kg/dm³ arasında olması aranır. Özgül ağırlık, agreganın uygunluğunu belirtir. Düşük özgül ağırlık, kalitesiz malzemeyi; yüksek özgül ağırlık ise kaliteli beton agregasını tanımlar.

5-Agreganın Mekanik Özellikleri: TS 706 EN 12620'ye göre, agreganın basınç dayanımı 1 000 kg/cm²'nin altında ise, agregaların aşınma direncinin testlerle belirlenmesi gerekir. Aşınmaya karşı mukavemet, beton agregalarındaki dayanıklılığı belirlemek için standartlarda belirtilen yöntemle ölçülür.

6-Agreganın Basınç Mukavemeti: Basınç mukavemeti ile malzemenin porozitesi arasında yakın bir ilişki vardır. Küçük porozite, agrega mukavemetini artırır. Betonda kullanılacak agreganın basınç dayanımının en az 600 kg/cm² olması aranır.

7-Agreganın Aşınma Mukavemeti: Basınç dayanımı 1 000 kgf/cm²'nin altında ise, şüpheli durumlarda veya yapay agregalarda aşınma direnci deney sonuçlarına bakılır (Yıldız, 2013).

Agreganın sınıflandırılması;

1-Elde Ediliş Şekline Göre

1-Doğal Agreg (Doğal taş agregası)

2-Yapay Agreg (Sanayi ürünü agreg)

2-Tane Boyutlarına Göre Sınıflama

1-İnce Agreg (4 mm altı) Kum, Kırma kum

2-İri Agreg (4 mm üstü) Çakıl, Kırmataş (mıcır), Yapay taş

3-Taşunu (Filler) (0.25mm altı) (Korkut, 2022)

Agregalar, aşağıdaki şekilde sınıflandırılmaktadır:

1-Kalsiyum Karbonat Agreg: Ülkemizin hemen hemen her bölgesinde bulunan kalsit, modern teknolojilerin kullanımıyla istenilen incelikte öğütülebilmekte ve böylece sanayi alanlarında kullanılabilir. Eser'in (2022) çalışmasında Çizelge 2.2, Çizelge 2.3. ve Çizelge 2.4.'te detaylı bir şekilde sunulmuştur.

2-Silis Agreg: Silisyum elementine dayalı olan ve yüksek sertlik değeri ile bilinen bir agregadır. Silis kumu olarak da bilinen kuvars kumu, ana elementi silisyumdan türetilir. Agregaların özellikleri ve analiz değerleri, Eser'in (2022) çalışmasında Çizelge 2.2, Çizelge 2.3. ve Çizelge 2.4.'te detaylı bir şekilde sunulmuştur.

Çizelge 2.2. Kalsiyum karbonat ve silis kumu için malvern analiz değerleri

MalzemeAdı	Tedarikçi	D(v, 0.1)	D(v, 0.5)	D(v, 0.9)	D(v,0.98)	D(v, 1)
Omyacarb5-GZ	OMYA	1.4 – 3.0	6.5 – 9.5	18 - 23	26 - 32	33 - 45
Omyacarb 40-KP	OMYA	2.5 - 4	19 - 24	65 - 85	95 - 130	140 - 180
Omya Akr-GZ	OMYA	8 - 30	55 - 85	120 - 160	155 - 225	195 - 300
Esen O-5S	ESEN	120 - 250	300 - 375	480 - 590	590 - 720	720 - 875
Silis Kumu	ÇELİKTAŞ	120 - 280	315 - 400	470 - 650	700 - 815	900 - 950

Çizelge 2.3. Silis kumu kimyasal analiz

SiO ₂	98.85
Fe ₂ O ₃	0.32
CaO	0.03
MgO	0.015
Na ₂ O	0.771
K ₂ O	0.054
Al ₂ O ₃ ve Diğerleri	1.187
Kızdırma Kaybı (1 000 C)	0.2

Çizelge 2.4. Silis kumu fiziksel analiz değerleri

Elek Boyutu (um)	Üretim Aralığı (%)	Analiz Sonucu (%)
+710 um	%0 ile 0.2 arası	0.0
+500 ile -710 um	%0 ile 1.5 arası	0.0
+355 ile -500 um	%0 – 8 arası	0.0
+250 ile -355 um	%10 – 30 arası	0.3
+180 ile -250 um	%40 – 65 arası	20.3
+125 ile -180 um	%10 – 25 arası	41.7
+90 ile -125 um	%0 – 6 arası	20.3
+63 ile -90 um	%0 – 2 arası	8.5
-63 um	%0 – 0.3 arası	9.0

2.1.4. Beton

Beton, hammaddelerin ve katkı maddelerinin bir araya getirilerek oluşturulan, başlangıçta yarı akışkan bir formda olan ve zaman içinde sertleşip belirli bir şekil alan bir yapı malzemesidir. Bu malzeme, bina inşaatlarından yollar, köprüler, sanayi tesisleri gibi çeşitli alanlarda kullanılarak inşaat sektörünün en kilit malzemesi haline gelmiştir. Hızlı kentleşme ve artan nüfusla birlikte, inşaat sektöründe büyük bir beton

talebi ortaya çıkmaktadır (Karakaya Harmancı, 2022).

Hazır betonun tarihçesi 1903'lere kadar gitmektedir. İlk kez Almanya'da kullanılan hazır beton, Almanya'da bir süre kullanıldıktan sonra ABD'de de popüler hale gelmiştir. Hazır betonun yaygınlaşmasında önemli bir dönemeç, 1914 yılında Stephan Setephanian tarafından geliştirilen transmikser adlı beton taşıma aracıyla yaşanmıştır. Savaş sonrasında birçok hazır beton firması kurulmuş ve hazır beton kullanımı giderek artmıştır. Bu firmalardan bazıları günümüzde hala faaliyet göstermektedir. Hazır betonun yaygınlaşmasında en önemli etken, 20. yüzyılda kentleşme ve altyapı projelerinin hız kazanmasıdır. Bu süreç, hazır beton teknolojisinde de gelişmelerin yaşanmasına neden olmuştur. Hazır beton, çimento, agrega, su ve gerektiğinde katkı maddelerinin homojen bir karışımı ile oluşan bir yapı malzemesidir. Çimento, su ile reaksiyona girerek bağlayıcı özellik sağlar ve betona dayanım kazandırır. Agregalar, çimento hamuru ile homojen bir şekilde karışarak betona ekonomiklik sağlarlar. Hazır beton, renk, şekil ve yüzey özellikleri bakımından istenilen uygulamalara imkân tanır. Bu, yapıda estetik bir görünüm elde edilmesine ve hazır betonun tercih edilmesine olanak sağlar (Aydın, 2022). Betonun özellikleri, taş ile benzerlik göstererek basınç dayanımında yüksek performans sergiler. Dayanıklılık, ekonomiklik ve kolay taşınabilirlik gibi faktörler de betonun tercih edilmesinde etkili olur (Topçu ve Uygunoğlu, 2010).

Beton, belirlenen oranlara göre çimento, doğal agrega, temiz su ve katkı maddelerinin karıştırılmasıyla üretilen, ilk aşamada plastik kıvamda olan ve zamanla çimentonun hidrasyonu sonucunda sertleşip istenilen şekli alarak katılaştıran kompozit bir yapı malzemesidir (Korkut, 2022). Betonun yapısal bileşenlerine göre kütleli dağılımında %70 ile 75 oranında agrega, %12 oranında çimento ve %8 oranında su bulunmaktadır (Babalık, 2022).

Betonun özelliklerini belirleyen faktörler şu şekilde sıralanabilir:

1-Beton Mukavemeti: Betonun dayanımı, çekme dayanımı, basınç dayanımı ve kesme (kayma) gerilmesi gibi dış etkilere karşı gösterdiği dayanımı içerir.

2-Betonun Gerilme-Deformasyon İlişkisi: İnşaatlarda kullanılan betonun gerilme-deformasyon ilişkisinin bilinmesi, hesaplama, tasarım, yapım ve kullanım süreçlerine yardımcı olur.

3- Poisson Oranı: Betonun boyuna yöndeki deformasyonun, enine deformasyona oranı olan Poisson oranı, TSE TS 500 (2000) standardına göre beton için genellikle 0.2 olarak kabul edilir.

4-Elastisite Modülleri: Betonun düşük gerilimlerde ve kısa yüklemeler altında doğrusal elastik davrandığı kabul edilir ve elastisite modülleri betonun dayanımının yaklaşık üçte birine ulaşmaması beklenir.

5- Sıcaklık Genleşme Katsayısı: Çimentonun dozajına bağlı olan betonun genleşme katsayısı, dozaj artmasıyla artar. Beton ve çelik genleşme katsayıları birbirine yakındır, bu da sıcaklık değişimlerinde birlikte hareket etmelerini mümkün kılar.

6-Betonun Şişme ve Büzülmesi (Rötre): Kurumaya başlayan beton su kaybı yaşar ve hacminde değişiklik olur; bu duruma büzülme veya rötre denir.

7-Betonun Geçirimsizliği: Geçirimsiz beton üretiminin temel şartı, beton boşluklarını en aza indirmektir.

Bu özellikler, betonun yapısal sağlamlığı, dayanıklılığı ve performansı açısından önemli parametrelerdir (Karakaya Harmancı, 2022).

Beton, agrega, çimento, su ve gerekli durumlarda kimyasal katkı maddesinin belirli oranlarda karıştırılmasıyla elde edilen bir yapı malzemesidir. Bu beton oluşturan bileşenleri aşağıdaki başlıklarda ele alacağız (Aydın, 2022).

Agrega hakkındaki detaylar yukarıda açıklanmışken, çimento ve su ile ilgili kısa bilgiler verilmiştir. Ana hammadde olarak kullanılan yüksek CaCO_3 içeriğine sahip kireç taşı türleri ve kil, boksit, demiroksit gibi diğer mineraller belirli oranlarda karıştırılır. Bu karışım, kimyasal tepkimelere hazırlık amacıyla ince öğütülür ve homojen hale getirilir. Hazırlanan karışım kuru veya yaş ortamda yüksek sıcaklıklarda pişirilir. Bu süreçte ortaya çıkan ara ürüne "klinker" denir. Klinker, alçı taşı ile öğütülerek çimento elde edilmesi için kullanılır. Çimento, kil ve kireç taşının pişirilmesiyle oluşan ve hidrolik bağlayıcı özelliği olan bir yapı malzemesidir. Dünya genelinde yaygın bir şekilde kullanılan çimentodan üretilen beton, suyun ardından kişi başına düşen en çok tüketilen temel malzemedir. Genellikle ilk akla gelen çimento türü portland çimentodur, ancak son yıllarda farklı oranlarda puzolanik maddelerin katıldığı çeşitli çimento türleri üretilmiştir.

Portland çimentosu, 1824 yılında İngiliz mucit Josheph Aspdin tarafından geliştirilmiştir. Aspdin, 1800'lerin başında yollardaki taş tozlarını toplayarak bunları kil ile pişirerek bağlayıcı bir madde elde etme çalışmalarına başlamıştır. Ürettiği bu bağlayıcı maddeyi, özellikle renk ve diğer özellikleri bakımından Portland Adası'ndan çıkartılan yapı taşlarına benzemesi nedeniyle "Portland Çimentosu" olarak adlandırmış ve 1824 yılında bu bağlayıcının patentini almıştır. Portland çimentosu, temel olarak uygun oranlarda karıştırılan killi ve kalkerli maddelerin 1 400°C – 1 500°C arasında bir sıcaklıkta pişirilmesiyle elde edilen katı parçacıklar olan klinkerin, uygun oranda alçı taşı ile öğütülmesiyle üretilir. Çimentonun hidratasyon sürecinde, çimento ve su bir araya geldiğinde başlayan ve devam eden kimyasal reaksiyon olan hidratasyon gerçekleşir. Başlangıçta yumuşak ve plastik yapıda olan çimento hamuru, zaman içinde giderek katılaşır ve sertleşir. Çimento hamurunun şekil verilemeyecek kadar sertleştiği bu aşamaya "priz alma" denir. Priz alma sonrasında ise çimento hamuru sertleşmiş duruma gelir, buna da "sertleşmiş çimento hamuru" adı verilir (Coşkun, 2022).

Çimento, kullanım alanları ve üretim şekline göre, içerdiği minerallere bağlı olarak farklı sınıflara ayrılmaktadır. Bu sınıflandırmada sırasıyla Portland çimentosu (CEM I), Portland kompoze çimento (CEM II), yüksek fırın cürüflü çimento (CEM III), puzolanik çimento (CEM IV) ve kompoze çimento (CEM V) bulunmaktadır. Farklı çimento türlerinin, çeşitli yapı inşaatları için daha uygun olduğunu söyleyebiliriz. Örneğin; CEM I ve CEM II çimento tipleri genellikle konut ve ticari alanlarda kullanılırken, CEM III, CEM IV ve CEM V çimento tipleri, su ile sık temas eden yapı inşaatları için daha uygun olan çeşitlerdir (Korkut, 2022).

Beton üretiminde kullanılan çimento hakkında özet bilgiler yukarıda verilmiştir. Beton karışımının önemli bileşenlerinden biri olan su ile ilgili bilgiler şu şekilde özetlenebilir: Beton üretiminde kullanılacak karışım suyu, TS EN 1008 standardına uygun olarak seçilmelidir ve içilebilecek nitelikte olmalıdır. Beton malzemelerinin karışımında kullanılan su, çimento ile birleşerek hidratasyonu başlatmak ve devam ettirmekle görevlidir. Ayrıca, agrega ve çimento tanelerinin yüzeyini ıslatarak taze beton karışımında istenilen işlenebilirliği sağlar. Kullanılacak su temiz, içilebilir, berrak ve kokusuz olmalıdır. Beton karma suyu asidik olmamalı ve içinde sülfat, çeşitli tuzlar gibi betona zarar verebilecek kimyasal maddeler bulundurmamalıdır

(Coşkun, 2022). pH değeri karışım suyunda 7'den büyük olmalıdır. Şüpheli durumlarda mukavemet ve priz deneyleri yapılmalıdır. Deniz suyunun karışım suyu olarak kullanılması durumunda aşağıdaki sorunlara yol açabilir:

1-Betonarme yapıların donatılarındaki korozyon riskini artırabilir. Bu nedenle, özellikle sıcak iklimlerde deniz suyu kullanılmamalı ve öngörülmesi yapılar için bu tür su kullanımından kaçınılmalıdır.

2-Kullanıldığı yapıda nem oluşumuna ve yapı yüzeylerinde lekelerin ortaya çıkmasına neden olabilir.

3-Yapıya uygulandığında mukavemetinde %15'e kadar düşüşe neden olabilir (Aydın, 2022).

Betonu meydana getiren faktörlere ek olarak, belirli durumlarda çeşitli katkı maddeleri de kullanılır. Beton katkı maddeleri, bağlayıcı madde içeriğini belirli oranlarda artırarak taze ve sertleşmiş beton özelliklerini istenilen seviyeye getirmek amacıyla beton karışımına eklenen maddelerdir. Kimyasal katkı maddeleri, sıvı veya toz formda olabilir, organik veya inorganik kökenli olma özelliğine sahiptir (Korkut, 2022).

2.1.5. Taze beton özellikleri

Agrega ve çimentonun su ile karıştırıldıktan sonraki ilk birkaç saat içinde oluşturduğu beton, taze beton olarak adlandırılır ve kolayca işlenebilir. Beton malzemelerinin karıştırılma işlemi tamamlandıktan sonra, betonun sertleştiği an kadar olan evrede betona şekil verilebilmektedir. Taze betonun özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir.

1- Akışkanlık ve işlenebilirlik: Betonu meydana getiren malzemelerin kolayca karıştırılabilir olması, betonun dökülecek alana rahatça yerleştirilebilmesi ve betonun etkili bir şekilde sıkıştırılabilir olması önemlidir.

2- Taze beton sıcaklığı: Taze betonun sıcaklığının, +33 °C'den fazla ve +5 °C'den az olmaması gerekmektedir.

3- Betonda terleme ve ayrışma durumu: Taze betonu oluşturan malzemelerin homojen bir şekilde dağılması önemlidir. Betonun yerleştirilmesi ve sıkıştırılması sırasında agreganın tanecikleri ile çimento harcının ayrı bölgelerde birleşmemelidir.

İri agreganın çökme eğiliminde olması ve kıvamı yüksek betonlarda suyun

yüzeye çıkma eğiliminde olmaması gözlenmektedir.

4- Hava oranı: Beton içindeki hava miktarı, betonun dayanımı, dayanıklılığı ve yoğunluğu ile doğrudan ilişkilidir. Taze betonda yüzde 0.5-8 arasında hava bulunabilir. Donma-çözülme direncini artırmak için betona hava eklemek mümkündür.

5- Yoğunluk: Taze betonun birim hacmindeki ağırlığını ifade eden birim ağırlık, ton/m^3 veya kg/m^3 olarak ifade edilir. Yüksek özgül ağırlığa sahip agregalardan oluşan beton, yüksek bir birim ağırlığa sahip olacaktır. Betonun içindeki hava boşluklarının oranı arttıkça birim ağırlığı azalacaktır (Topçu ve Uygunoğlu, 2010).

Taze betonun özellikleri arasında yer alan işlenebilirlik önemli bir yere sahiptir. Betonun kalıp içerisinde istenilen şekle homojen bir şekilde dağılarak yerleştirilebilmesi, işlenebilirlik özelliğini ifade eder. Betonun olabildiğince az boşluklu, tane dağılımı ise homojen bir şekilde prizini alabilmesi, taze betonun işlenebilirlik açısından en önemli faktörlerindendir. Taze betonun kıvamı, betonun kendi ağırlığı altında hareket etme kabiliyeti veya plastikliği ile ilişkilidir. Su ve kimyasal katkı maddeleri, taze betonun kıvamını etkileyen en önemli etkenlerden biridir. Bu katkılar arasında bazıları, betona plastikleştirici özellik kazandırırken, diğerleri akışkanlaştırıcı özellik kazandırır. Akışkanlığı artıran kimyasal katkı maddeleri, çimento hamurunun ve dolayısıyla beton karışımının kolayca şekil almasını sağlarken, plastikleştirici katkı maddeleri yeni karıştırılmış betonun deformasyona karşı direncini ve kalıplanabilme şartlarını iyileştirir. Taze betonun işlenebilirliğini etkileyen temel unsurlar arasında, agreganın yüzey şekli, su emme kapasitesi, granülometri, ince agreganın tekstürü ve çimentonun miktarı bulunmaktadır (Korkut, 2022).

2.1.6. Sertleşmiş betonun özellikleri

Sertleşmiş beton, taze betonun şekil verilebilme sürecinin tamamlandığı, katılaşmanın başladığı bir dönemdir. Bu aşamada beton, istenilen süre içinde yeterli mukavemeti göstermeli ve ayrıca yeterli hacim sabitliğine ve dayanıklılığa sahip olmalıdır. Sertleşen betonun temel özellikleri şu şekildedir:

1- Dayanım: Betonun dayanımı, statik veya dinamik yüklerin neden olabileceği

şekil değişimlerine ve kırılmaya karşı betonun gösterebileceği en yüksek direnci ifade eder.

2- Dayanıklılık (Durabilite): Dayanıklılık aynı zamanda "kalıcılık" olarak da adlandırılır. Beton yapılar, hizmet süresi boyunca birçok etkenle karşılaşır. Hava koşulları, kimyasal sular ve betonun kullanıldığı ortam koşullarının etkisiyle yıpratıcı kimyasal ve fiziksel etkilerle başa çıkabilme yeteneğine dayanıklılık denir. (Topçu ve Uygunoğlu, 2010).

Sertleşmiş betonun belirli bir kullanım amacına uygun basınç dayanımını sağlaması ve servis ömrü boyunca durabilite özelliklerini koruması beklenmektedir. Betonun en kritik mekanik özelliklerinden biri, basınç mukavemetidir. Betonun mekanik özellikleri arasında yüksek basınç dayanımına sahip olması, kompakt yapısı, düşük su geçirgenliği, çevresel etkilere dirençli olması ve aşınmaya karşı direncinin yüksek olması istenir. Genellikle betonun kalitesi, sağladığı dayanım ile değerlendirilir (Korkut, 2022).

2.2. Atık Yönetimi ve Sürdürülebilirlik

Üretim ve kullanım faaliyetlerinden kaynaklanan ve insan ile çevre sağlığına zarar verebilecek nitelikte olan tüm maddeler, atık olarak adlandırılmaktadır. Atıkların yönetimi; kaynağında azaltılması, özelliğine göre ayrılması, toplanması, ara depolanması, geçici depolanması, geri kazanılması, taşınması, bertarafı ve bertaraf işlemleri sonrası kontrol ve benzeri adımları içeren bir süreç olan ‘Atık Yönetimi’ olarak tanımlanır. Entegre Atık Yönetimi ise tüm atık türlerinin bir arada entegre bir şekilde yönetilmesini ifade eder. Ekonomik büyüme, artan nüfus ve yaşam standartlarının yükselmesi, atık oluşumunda artışa neden olmaktadır. Sürdürülebilir bir çevre için, atık yönetimine yeni bir perspektif getiren kavramlar arasında ‘Sıfır Atık’ ve ‘Döngüsel Ekonomi’ bulunmaktadır. Döngüsel ekonomi, neredeyse hiç atık oluşturmayan ve hammaddeleri kapalı bir devrede geri dönüştürerek tekrar kullanılan bir ekonomi modeli olarak tanımlanmaktadır. Bu modele genel olarak geri dönüşüm ekonomisi de denilebilir (Anonim, 2015).

Doğal kaynakların tükenme riskinin yanı sıra, doğaya verilen zararın ve oluşan kirliliğin sadece çevre için değil, aynı zamanda bu kirliliği yaratan insan için de tehlikeli olabileceği aşikârdır. Ormanların yok olması, suların kirlenmesi ve kirli

hava, sanayi devriminin başlangıç noktası olan İngiltere'nin merkezi Londra'da insan sağlığını tehdit ediyordu. Kalkınma ile çevre arasında olumsuz bir ilişki olabileceği, doğanın çevresel kirliliği sindirme kapasitesinin belirli bir sınırı olduğu ve çevresel bozulmanın insan sağlığına zarar verebileceği fark edildi. Bu farkındalık, öncelikle Birleşmiş Milletler (BM) ve bağlı kuruluşlarının liderliğinde bir dizi araştırma ve toplantıyı tetikledi. Bu süreçte, sanayileşmenin küresel ölçekte olduğu anlaşıldı ve özellikle sera gazı emisyonlarının yerküre iklimi üzerindeki etkileri, küresel ısınma ve buna bağlı olarak kutup buzlarının erimesi riski ve deniz seviyesinin yükselmesi, dünya genelindeki önemli yerleşim alanlarının sular altında kalma olasılığı gibi konular, tüm dünya için endişe kaynağı haline geldi (Kocabağ, 2018).

Uluslararası antlaşmaların imzalanması önemli bir gelişmedir. Bu antlaşmalar, günlük hayatımıza doğrudan etki etmese ve ülkemizde geniş çapta tartışılmasa da, Türkiye birçok önemli antlaşmanın imzacısıdır. En son imzalananlardan biri, 2015'te Paris'te gerçekleşen ve 196 ülkenin katıldığı İklim Değişikliği Sözleşmesi'dir. Bu sözleşme, küresel ısınmayı Sanayi Devrimi öncesi seviyelere en fazla 2°C artışla sınırlamayı ve ülkelerin karbon emisyonunu azaltma taahhütlerini içermekte olup büyük önem arz etmektedir. Bu yeni küresel çabada ortaya çıkan temel yaklaşımlardan biri de sürdürülebilir kalkınma ilkesidir. Sürdürülebilir kalkınma ilkesi, ilk kez 1987'de BM Çevre ve Kalkınma Komisyonu (WCED) aracılığıyla Norveç Başbakanı Gro Harlem Brundtland'a hazırlatılan "Ortak Geleceğimiz - Our Common Future" raporunda ortaya çıktı. Raporda, çevre koruması ile kalkınma arasındaki bağlantı vurgulanmış ve uluslararası düzeydeki çevresel sorunların önemi farklı açılardan ele alınmıştır. Rapordaki temel olgulardan biri, çevre ile ekonomik sorunların birbirine bağlı olduğu ve doğal kaynakların korunmasının insan ihtiyaçlarını karşılama sürecinde önemli olduğudur (Kocabağ, 2018).

Dünya genelinde doğal kaynakların tükenmesi endişeleri, 1992'de Rio de Janeiro'da gerçekleşen BM Çevre ve Kalkınma Konferansı'na ev sahipliği yaptı. Bu konferans, tarihte görülen en büyük devlet başkanları toplantısına yol açtı. Bu toplantı ve sonraki zirveler, sürdürülebilir kalkınma ilkesinin benimsenmesine öncülük etti ve AB'nin Amsterdam Anlaşması'na dahil edildi. Yeni üretilen bir agreganın hazırlanmasında, doğal çevreye verilen zararın yanı sıra büyük miktarda enerji harcaması gerektiği unutulmamalıdır. Bu durum, malzemenin maliyetini

artırmaktadır. Atık maddenin fazla olduğu (% 50) ve agrega olarak kullanılabilen potansiyele sahip başka bir endüstri dalı ise mermer endüstrisidir (Akbulut ve Güner, 2003).

Kentsel atıkların nasıl ele alınacağı ve değerlendirileceği konusu günümüzde önemli bir sorun oluşturmaktadır. Bu atıkların miktarındaki artışla birlikte, atıkların toplanması, taşınması, sağlıklı bir şekilde depolanması ve geri kazanımı gibi konuları içeren katı atık yönetiminin önemini artırmaktadır. Katı atık yönetimi literatürde "toplum tarafından atılan maddelerin çevreye ve topluma zarar vermeden, belirli yöntemlerin bilinçli bir şekilde uygulanması ile toplama aşamasından son yok ediş aşamasına kadarki süreci konu edinen uygulamalar" olarak tanımlanmaktadır. (Akdoğan ve Güleç, 2007)

Şu anki öngörüler, küresel tüketimin dünyanın kendi kendini yenileme kapasitesini %50 oranında aştığını göstermektedir. Sanayileşmiş ülkelerdeki mevcut olarak kullanılan üretim ve tüketim modelleri sürdürülebilirlikten giderek uzaklaşmış, artan gelir seviyeleri ve yaşam standartlarının yükselmesi sonucu gezegenin doğal kaynakları ve ekosistemi üzerinde artan baskıya neden olmuştur. Gezegenimiz, ekolojik sınırlarını zorlarken, günümüzün al-yap-kullan-at (take-make-use-dispose) doğrusal veya diğer adıyla lineer ekonomisinin modern toplum ihtiyaç taleplerine daha fazla cevap veremeyeceği açık bir şekilde anlaşılmaktadır. AB Atık Mevzuatındaki düzenlemelerin yanı sıra, ürünlerin atık performansını düzenleyen Ekotasarım Direktifi ve Reach Tüzüğü gibi düzenlemeler de atık yönetimiyle yakından ilişkilidir (Sapmaz Veral ve Yiğitbaşıoğlu, 2018).

2002'de Johannesburg'da gerçekleştirilen Dünya Sürdürülebilir Kalkınma Zirvesi'nin ardından, Madencilik, Mineraller ve Metaller ile Sürdürülebilir Gelişme konularında Devletlerarası FORM (Intergovernmental Forum on Mining, Minerals and Metals and Sustainable Development-IGF) oluşturuldu. Bu forum, madenciliğin ekonomiler için önemli olduğunu düşünen ülkeler tarafından kurulmuş olup BM tarafından bir paydaş olarak tanınmaktadır. Gönüllülük esasına dayalı bir işbirliği platformu olan IGF, 62 ülkeden üyelere sahiptir. IGF, üye devletlerin madencilik kurumlarına rehberlik etmek amacıyla madencilik süreçlerinin her aşamasında, maden arama, rezervin tükenmesi sonrası tesis kapatma ve eski maden sahalarının rehabilitasyonu

gibi konularda ilkeler belirlemiştir. Aynı zamanda üye ülkeleri sürdürülebilir madencilik uygulamalarını teşvik etmeye yönlendirmektedir (Kocabağ, 2018).

Atık Yönetiminin yasal çerçevesinden özetle bahsedecek olursak;

1- AB-Atık Çerçeve Direktifi (75/442/EEC,15/07/1975)

2-AB-Atık Listesinin Oluşturulmasına Dair Komisyon Kararı (2000/532/EC, 03/05/2000)

3- 18/3/2004 tarihli ve 25 406 sayılı Resmî Gazetede (RG) yayımlanan “Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği

4- AB-Atık Direktifi (2006/12/EC, 05/04/2006)

5-05.07.2008 tarih ve 26 927 sayılı RG Yayınlanan Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik

6- 02.04.2015 tarih ve 29 314 Sayılı RG de yayımlanan Atık Yönetimi Yönetmeliği

Bunlara ek olarak Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından hazırlanan mevzuat arşivinde, Atıklar ile ilgili yönerge, yönetmelik gibi ellinin üzerinde mevzuat çalışması yayımlanmıştır (Anonim, 2023).

Atık Yönetimi Yönetmeliğinin ilk maddesinde belirtilen hedefler şunlardır:

1-Atıkların oluşum aşamasından bertaraf edilmesine kadar çevre ve insan sağlığını koruyarak yönetimini sağlamak,

2-Atık oluşumunu azaltmak, atıkları yeniden kullanmak, geri dönüştürmek, geri kazanmak gibi yöntemlerle doğal kaynak kullanımını azaltmak ve atık yönetimini sağlamak,

3-Belirli ölçütler, temel şartlar ve özelliklere sahip olan bu Yönetmelik kapsamındaki ürünlerin üretimi ile ilgili genel usul ve esasları belirleyerek piyasa gözetimi ve denetimi yapmaktır.

Doğal taş ve mermer atıklarıyla ilgili bu Yönetmelik kapsamında, "Madenlerin aranması, çıkarılması, işletilmesi, kimyasal ve fiziki işleme tabi tutulması esnasında ortaya çıkan atıklar" başlığı altında (01) Kodu ile belirlenen atık kodu, "Atık Kodu Belirleme Hiyerarşisi ve Atık Kodu Açıklamaları" ekinde yer almaktadır (Anonim, 2023). Ülkemizde Maden İşleri Genel Müdürlüğü (MİGEM) maden üretim istatistiklerine göre yılda yaklaşık 25 milyon ton (10 milyon m³) doğal taş

üretilmektedir. En iyimser verilere göre bile ocaklarda kullanılamayan ve yılda 75 milyon ton atığın doğaya bırakıldığı düşünülmektedir. Ayrıca, 5 milyon ton blok ihracatı gerçekleştirildiğinden, ülkemizde yaklaşık 20 milyon ton doğal taşın işlendiği tahmin edilmektedir. İşleme tesislerinde doğal taşların işlenmesi sırasında ise yaklaşık %40 oranında toz şeklinde kesim artıkları ve parça şeklinde paletlenmiş artıklar oluşmaktadır ki bu miktar yılda 8 milyon ton civarındadır. Bu veriler, çevresel etkiler yaratacak, yeniden kullanılması veya bertaraf edilmesi gereken doğal taş atıklarının miktarı hakkında bize bir anlayış sunmaktadır (Çiner vd., 2018).

2.2.1. Atıkların oluşumu

Mermer üretiminin bir sonucu olarak oluşan atıklar genellikle boyutlarına ve konumlarına bağlı olarak iki ana kategoriye ayrılabilir. Boyutlarına göre, parça (moloz) ve toz atıkları olarak sınıflandırılabilirler. Parça atıklar genellikle moloz olarak adlandırılır ve ticari olarak blok olarak değerlendirilemeyen, belirli bir geometrik şekle sahip olmayan iri ve ufak parçalardan oluşur. Toz atıkları ise, işlemlerden geçirildikten sonra ortaya çıkan tozlardır ve arama veya üretim sırasında yapılan kazı veya taşıma gibi işlemler sonucu kaya ve kaya parçacıklarının ezilmesiyle meydana gelir. Dünya genelinde mermer üretimi genellikle açık ve yer altı üretim yöntemleriyle gerçekleştirilmektedir. Yer altı madencilik yöntemi, çevreye daha az etki yapması ve görsel kirlilik oluşturmaması bakımından avantajlı olsa da, ülkemizde genellikle tercih edilmemektedir. Mermer ocaklarında genellikle blok veriminin düşük seviyede olması, fazla miktarda atık oluşmasına neden olmaktadır. Blok alımında, mermer yatağındaki kırık, çatlak ve eklem sistemleri jeolojik yapı olarak en önemli faktörlerdir. Ayrıca, hatalı ocak yeri seçimi ve plansız üretim blok veriminin düşmesinde etkili olmaktadır. Üretim neticesinde ortaya çıkan atıkların plansız bir şekilde çevreye atılması, artık yığınlarının kaymasına neden olarak tehlikeli durumlar oluşturabilir. Başka endüstriyel alanlarda oluşan atıkların değerlendirilmemesi, uzun yıllar boyunca biriken bu atıkların yapay artık dağlarına dönüşerek görüntü kirliliği oluşturmaya yol açabilir. Görüntü kirliliği ve atık sorununun yanı sıra, mermer ocaklarında önemli bir çevresel etki de üretim sırasında ortaya çıkan tozun çevreye etkisidir. Mermer ocaklarında oluşan tozun herhangi bir toksik etkisi saptanmamıştır. Bir işletmede oluşan 50 mikrondan büyük tanelerin tozlanma sonucunda, etkilenen alan yaklaşık 800 metreye kadar uzanabilir. Mermer

ocaklarında, kayacın türüne bağlı olarak alınması gereken tedbirlerin ihmal edilmesi durumunda yer altı suyunun kirlenmesi, gürültü kirliliği ve üst toprağın düzenli depolanmaması nedeniyle toprak kaybı ve tahribatı gibi etkiler de meydana gelebilir (Demir ve Güngör, 2013).

Fabrikalarda mermerin istenilen boyut ve kalınlıklarda kesilmesi esnasında, kesicinin ısınmamasının engellenmesi ve oluşan tozun hava ile karışmaması için su kullanılmaktadır. Bu işlemlerin sonucunda ortaya çıkan atık mermer çamuru, genellikle bilinçsizce çevreye atılmaktadır. Levha ebatlama ve baş kesme gibi işlemler sırasında iri taneli atıklar ortaya çıkar, silme-cılalama işlemi ise genellikle 1mm'den küçük tanecikler şeklinde atıklara neden olur. Tüm bu işlemler esnasında oluşan iri atıkların yanı sıra çamur şeklinde atık mermer tozu da ortaya çıkmaktadır (Rahimi, 2021).

Ülkemiz genelinde özellikle madencilik sektöründe üretime bağlı olarak meydana gelen atık miktarı ile ilgili kesin veriler bulunmamaktadır. Ancak Türkiye İstatistik Kurumu'nun (TÜİK) 2014 yılında yaptırmış olduğu "Maden işletmeleri su, atıksu ve atık istatistikleri anketi" sonuçlarına göre, ülkemizde madenle iştigal eden firmalar tarafından 755 milyon ton atık üretildiği tespit edilmişti (Okubay, 2016).

2.2.2. Atıkların çevresel etkileri

Mermer atıklarının doğal çevreye verdiği zararlar ile fiziksel kimyasal ve biyolojik etkileri şu şekilde sıralanabilir;

1- Ortaya çıkan mermer tozları, bitki örtüsüne ve toprağa zarar verebilir. Mermerin çıkarılması ve işlenmesi sırasında toksik veya asidik maddelerin kullanılmadığı unutulmamalıdır. Toz sorunu, ocak yollarında yapılan düzenlemeler ve düzenli sulama ile etkili bir şekilde önü alınabilir. Ancak, işletmelerin basit olarak adlandıracağımız bu önlemleri çoğunlukla ihmal ettikleri bir gerçektir (Bilgin ve Koç, 2013). Toprağın su emme kapasitesini önemli ölçüde düşürerek üretim verimliliğini azaltır, bu da bölgedeki tarımsal faaliyetlere ve bitki örtüsüne zarar verir (Erdemonar, 2022).

2- Ayrıca ocak içinde nakliyenin sağlandığı yollarda da zaman zaman toz emisyonu meydana gelebilir. Bu tozlar öncelikle çalışanları, çevrede bulunan

yerleşim birimlerini ve bitki örtüsünü olumsuz yönde etkileyebilir. Tozlu luk, doğal veya yapay kaynaklardan kaynaklansın, görüş mesafesini azaltan, güneş ışınlarının emildiği bandı değiştiren ve insan, hayvan ve bitki gibi tüm canlıların sağlığına olumsuz etki yapan bir kirlilik türüdür. Gerekli önlemlerin alınmaması durumunda, mermer ocağı üretimlerinden kaynaklanan tozlanma, çevre yerleşim alanları ile beraber fundalık, makilik ve hatta orman alanlarını da etkileyebilir (Bilgin ve Koç, 2013). Mermer tozundan kaynaklanan partiküllerin havaya karışması, hava kalitesini düşürerek insan sağlığı üzerinde önemli etkiler bırakabilir (Erdemonar, 2022).

3- Mermer tozu, mermer fabrikalarında su ile kesilen aletlerde oluşan mermer çamuru olarak ortaya çıkar ve bu çamur, atıldığında doğal su kaynaklarına karışarak su kalitesini bozar ve suyun depolama kapasitesini azaltır.

4- Mermer ocakları ve fabrikalarının atıkları görsel kirliliğe neden olabilir (Erdemonar, 2022).

5- Mermer ocaklarının işletilmesi, bitki örtüsünün kaldırılması ve yeryüzü şeklinin değiştirilmesini gerektirir, bu da bölgenin doğal ekolojik yapısını değiştirerek farklı bir görünüme neden olabilir.

6- Mermer işletmeleri, atık boşaltımı için ayrılan alanlara rağmen çamurlarını fabrikalarına yakın vadilere veya boş arazilere boşaltabilmektedir. Bu durum, geniş arazilerin çamur kuruduktan sonra işgal edilmesine, toz kirliliğine ve yer altı su rezervlerinin kirlenmesine neden olabilir (Bilgin ve Koç, 2013).

Diğer madencilik sektörleriyle kıyaslandığında, doğal taş madenciliğinin sürdürülebilir olduğunu gösteren özellikleri arasında toksik maddelerin kullanılmaması, doğrudan sera gazı emisyonunun olmaması ve kullanılan suyun büyük bir kısmının geri dönüştürülebilmesi bulunmaktadır. Bununla birlikte, mermer ocaklarının ve fabrikalarının hem blokların çıkarılması hem de işlenmesi sırasında ortaya çıkan atıklar, özel zorluklara neden olmaktadır (Vargün ve Evren, 2018).

2.2.3. Atıkların geri kazanım çalışmaları

Atık yönetimi ve sürdürülebilirliği konusu kapsamında atıkların geri kazanım çalışmaları önem arz etmektedir. Bu konunun gündeme alınmasının amacı, geri dönüştürülebilecek nitelikteki doğal - yapay atıkların ekonomiye ve üretime katkı sağlayacak şekilde geri kazanım imkânlarının araştırılmasıdır. Konu ile ilgili bilimsel

alışmalar, atıkların üretimde dahil edilerek geri kazanım sağlanmasını hedeflemektedir. Bu başlık altında muhtelif mermer atıklarının değişik sanayi dallarında nasıl geri kazandırılabilceği incelenmiştir.

Mermer retiminde oluşan atıkları, inşaat ve seramik sektörü, imento üretimi, plastik, kâğıt, gübre, yem, boya, cam, kimya endüstrisi, yol yapımı, demiryolu zemin malzemesi, soda üretimi, refrakter malzeme üretimi, otomobil lastiği üretimi, patlayıcı malzeme üretimi, temizlik malzeme üretimi, haşere öldürücü ilaçlar ve birçok başka alanda değerlendirmek mümkün olabilmektedir (Okubay, 2016).

Mermer atık tozları, mikronize kalsiyum karbonat olarak adlandırılır ve çeşitli endüstriyel uygulamalarda değerlendirilebilecek nitelikte değerli hammadde oluşturur. Bu uygulamalar arasında kozmetik ve ilaç endüstrileri, tarımsal toprak iyileştirmesi, imento üretimi, yapı endüstrisinde döşeme ve kaplama reçinesi üretimi, refrakter tuğla imalatı, yem endüstrisi, kâğıt, boya ve polimer dolgu malzemesi, seramik ve cam endüstrisi, asit nötrleştirici ve ağır metal emilimi için endüstriyel atıklar, boya endüstrisi, elektrik üretim tesislerinde baca gazı kükürt giderimi, kireç üretimi, soda üretimi, gibi alanlar bulunmaktadır (Vargün ve Evren, 2018).

Mermer ocaklarında ortaya çıkan atıklar, küresel ölçekte etkisiz atık (inert) olarak sınıflandırılmaktadır. Ancak, bu atıklar, etkisiz olmalarına rağmen mermer sektörünün başlıca sorunlarından biridir. Bununla birlikte, bu parça ve toz artıkları birçok farklı sektörde değerlendirilebilir. Mermer retimi ve işleme sürecinde ortaya çıkan parça mermer artıkları, farklı boyutta kırılarak veya çeşitli işlemlerden geçirilerek farklı endüstriyel alanlarda kullanılabilir. Bu alanlar arasında mozaik döşeme, mineral sıva yapımı, yapay döşeme, palladyen yer döşeme, eğşitilmiş parça döşeme, agrega (mıcır) retimi ve metalürji sanayisi bulunmaktadır. Toz mermer artıkları ise imento, seramik, kâğıt, soda, cam, boya, plastik sanayileri, kireç, elik ve refrakter tuğla üretimi, ayrıca tarım sektöründe kullanılabilir (Demir ve Güngör, 2013). Mermer atıklarının yapı malzemesi üretiminde katkı olarak kullanım alanları; derz dolgu ve parke taşı üretimi, beton, elik, cam, tuğla, boya, suni mermer, imento, seramik, kireç, gazbeton, kullanım alanı olarak sayılabilir (Erdemonar, 2022).

Mermer atıklarından başlıca faydalanma yöntemlerini kısaca şu şekilde açıklanabilir:

1- Atık Mermer Tozunun Beton İçindeki Kullanımı: Atık mermer tozu, beton karışımında çimento yerine %10 oranında kullanılmıştır. Üretilen beton küp numuneleri, referans betona kıyasla daha yüksek basınç ve yarmada çekme dayanımına sahiptir. Benzer bir çalışmada ise atık mermer tozu, betonda ağırlıkça %5 ve %7.5 oranlarında çimento yerine kullanılmıştır. Mermer tozu, betonun basınç dayanımında önemli bir artışa neden olmuştur (Rahimi, 2021).

2- Kesim Atıklarının Kullanımı: Mermer kesim atıkları genellikle beton agregası, yol zemini, baraj ve inşaatlarda dolgu malzemesi, demiryollarında, mineral sıva ve suni mermer plağı yapımında değerlendirilmektedir. Ayrıca inşaatlarda paledyen döşeme olarak veya estetik malzemelerin üretiminde kullanılmaktadır (Ersoy vd., 2015).

3- Mineral Sıva Üretiminde Kullanılması: Binalarda iç ve dış cephelerin kaplamasında kullanılmak üzere, çeşitli atıklar 1 - 4 mm boyutlarına kırıldıktan sonra pigment dolgu maddesi, çeşitli kimyasallar ve reçine ile karıştırılarak mineral sıva üretiminde kullanılabilir (Ersoy vd., 2015).

4- Paledyen Zemin Kaplamasında Kullanılması: Düzgün şekilli paledyen parça atıklar, zemin kaplaması olarak değerlendirilebilmektedir. Bu amaçla, dikkat edilmesi gereken en önemli husus, kullanılan parçaların eş kalınlıkta olmasıdır. Paledyen atıkları depolanırken, firmalar eş kalınlıkta olanları bir arada tutmalıdırlar. Farklı renk ve desendeki parçalar bir araya getirilerek panelli döşemeler oluşturulabilir ve bu paneller, yapıların giriş ve ön bölgelerinde kullanılabilir (Ersoy vd., 2015).

5- Mozaik Kaplamada Kullanılması: Farklı renk, desen ve boyutlardaki atık parçalar, küp veya prizma şeklinde kesilerek çeşitli boyutlarda hazırlanan motiflerle birleştirilir ve istenilen mekâna uygulanır. Bu yöntemle, ortamın estetik görüntüsü artırılabilir (Ersoy vd., 2015).

6- Eskitilmiş Parça Döşemelerde Kullanılması: Artan antik eserlere olan talep nedeniyle, renkli mermer parçaları 2 veya 3 cm kalınlığında küçük kare veya dikdörtgen şekillerde kesilir. Bu parçalar, metal kazanlarda kalıplama işlemine tabi tutularak kenar keskinlikleri düzeltilir ve antik bir görünüm kazandırılır. Farklı renklerdeki bu malzemeler, parlak veya mat yüzeylerde çeşitli desenlerle kullanılabilir (Ersoy vd., 2015).

7- Asfalt ve Yol İnşaatında Kullanılması: Yapılan araştırmalar, mermer

atıklarının içerdikleri asfaltın daha sürdürülebilir ve uzun ömürlü olabileceğini göstermektedir. Bu atıkların asfaltta dolgu malzemesi olarak kullanılabilirliği üzerine yapılan çalışmalar, farklı şekil ve boyuttaki atık mermer parçalarının uygun agrega boyutuna getirilerek asfalt betonunda kullanılmasının, asfaltın yaşlanmasını önemli ölçüde geciktirdiğini göstermiştir. Ayrıca eklenen mermer tozunun, asfalt çimentosunun viskozitesini artırarak teker izi deformasyonlarını azalttığı tespit edilmiştir (Ersoy vd., 2015).

8- Yapay Mermer Üretiminde Kullanılması: İstenilen özelliklere sahip döşeme malzemesi olarak üretilebilen mermerit ya da suni mermer, doğal mermere kıyasla daha sağlam olma eğilimindedir. Mermer atıkları, sentetik mermerin bileşiminde kullanılmak üzere ayrıştırılabilir. Bu süreçte mermer atıklarının boyutları ve oranları, elde edilen sentetik mermerin özelliklerini etkileyebilir (Erdemonar, 2022). Suni- yapay mermer, küçük mermer parçalarının uygun polyester veya epoksi reçinelerle karıştırılması ve vakum altında vibrasyon eşliğinde basınç altında sıkıştırılması ile üretilir. Taş oranı, kullanılan taşın türüne ve kırma boyutuna bağlı olarak yaklaşık %85-95 arasında değişebilir (Kocabağ, 2018).

9- Beton Üretiminde İstifade Edilmesi: Belirli özelliklere sahip betonların üretim sürecinde mermer atıklarının kullanımı mümkündür. Yapılan deneysel çalışmalar, bu atıkların fabrikasyon kalıplı beton üretiminde kullanıldığında, fiziksel ve mekanik açıdan daha olumlu sonuçlar elde edildiğini göstermektedir (Erdemonar, 2022).

10- Metalürji İşlemlerinde İstifade Edilmesi: Mermer atıkları, çelik üretim süreçlerinde kullanılmak üzere içindeki kalsitin çeşitli işlemlerden geçirilmesiyle elde edilmektedir. Ayrıca, çelik üreticileri tarafından cüruf oluşturuıcı olarak da değerlendirilmektedir (Erdemonar, 2022).

11- Derz Dolgusu Üretiminde İstifade Edilmesi: Mermer atıkları, derz dolgu malzemesi üretiminde kullanılan maddeler arasında yer almaktadır. Bu atıkların içinde bulunan kalsit madde, derz dolgu malzemesi üretiminde belirli oranlarda kullanılabilir. Atıklar, belirli boyutlara getirildikten sonra derz dolgu malzemesi olarak kullanılabilir (Erdemonar, 2022). Derz dolgu malzemesi için mermer tozunun kullanılması durumunda, CaCO_3 içeriği en az %95 olmalıdır ve tane boyutu 250 mikrondan küçük olmalıdır. Mermer atıklarının tane boyutunun düşürülmesi sonucu, derz dolgu malzemesi olarak kullanılmaları mümkün kılınmaktadır (Ersoy vd., 2015).

12- Çimento Endüstrisinde İstifade Edilmesi: Mermer atık tozlarının veya parça mermer atıklarının çimento sanayinde katkıli portland çimentosu üretiminde katkı malzemesi olarak kullanılması öğütülerek toz haline getirilmesi ile mümkündür. Toz haline getirilen mermer atıkları, refrakter çimento üretiminde kalker kaynağı olarak kullanılmış ve istenilen teknik özelliklere sahip çimento elde edilmiştir (Ersoy vd., 2015). Küçük boyuttaki kireçtaşının (mermer) portland çimento klinkeri ile birlikte öğütülerek çok ince boyuta getirilmesi, çimentonun tane büyüklüğü dağılımını ince aralıkta değiştirmeyi amaçlar. Betonda, iri taneler arasında ki su ile doldurulan boşlukların yerini bu ince taneciklerin aldığı gözlemlenmiştir (Oğul, 2005).

13- Seramik Endüstrisinde İstifade Edilmesi: Seramik üretiminde, mermer atık tozlarının kalsinasyonu sonucu elde edilen CaO kullanılabilmektedir. Bu şekilde elde edilen ürünün, plastikliği ve dayanımını artırıcı özellik kazandırdığı belirtilmektedir (Ersoy vd., 2015). Proses sırasında mermer tozu ve mermer atığı çamurunun kullanılması durumunda, içeriğin tamamı CaCO_3 olsa bile fırınlarda ilk pişme esnasında CO_2 , 1 100-1 200°C'ta tamamen uçurulmaktadır. Pek önerilmemekle birlikte tek pişirim durumunda, fırın 900°C'de 10 dakika bekletilerek karbonatın tamamen alınması sağlanmaktadır. Vollastonit'in (CaOSiO_2) yüksek maliyeti ve ithalat gerekliliği nedeniyle, ülkemizde Ca içeren reçeteler için özel olarak öğütülmüş mermer tozu veya daha ekonomik olan mermer atığı tozları kullanılmaktadır. Seramik üretiminde %5-6 oranında mermer kullanılmaktadır. Seramik bünye ve sırlarında CaO olarak kabul edilen hammadde kaynakları genellikle kalsit, dolomit ve mermerdir. Bu CaCO_3 , çok ince öğütülmüş mermer şeklinde bileşime katılmaktadır (Bilgin ve Koç, 2013). Mermer atık tozları, içerdikleri CaO ve SiO_2 oranlarına bağlı olarak sır hammaddesi olarak kullanılabilmektedir. Sırlamada kullanılan mermer atık tozları, camlaştırıcı olarak kullanılmaktadır (Ersoy vd., 2015).

14- Kâğıt ve Boya Endüstrilerinde İstifade Edilmesi: Yapılan araştırmada, mermer toz artıklarının -100 μm (%90'ı 38 μm altı) tane boyutuna sahip olanlar kâğıt ve boya endüstrilerinde hammadde olarak kullanılabiliirliği incelenmiştir. Uygun öğütme teknolojileriyle boyut küçültme işlemi sonrasında mermer tozunun kullanılabileceği belirlenmiştir. Diğer bir çalışmada ise, ince boyutlu malzeme iri kristalli beyaz mermerlerden elde edilmiş ve su bazlı boya üretiminde dolgu malzemesi olarak kullanımı gerçekleştirilmiştir. Kalsitin, boyada kullanılan pahalı

hammaddelerden biri olan TiO_2 ile ikame edilebilirliği araştırılmış, sonuç olarak kalsit katkısıyla standart boyaya göre TiO_2 kullanımı %4 oranında azaltılmıştır (Ersoy vd., 2015).Boya üretiminde özellikle sulu boyalar için kullanılan kalsit (CaCO_3) oldukça önemlidir. Bunun için 10 mikronun altında ve çok saf kalsit kullanılmaktadır. Kalsitin içindeki demir oksit oranının %0.03'ten az olması istenmektedir (Bilgin ve Koç, 2013). Kireçtaşı (mermer), kâğıt sanayisinde selülozun pişirilmesi sırasında kullanılan sıvının hazırlanmasında kullanılmaktadır. Pişme sıvısı, CaCO_3 ile SO_2 arasındaki kimyasal reaksiyon sonucu meydana gelir. Kâğıt üretiminde "Kireç Sütü" metodu ile Mg'ce zengin dolomit kullanılırken, "Jenson Kulesi" yönteminde Ca'u yüksek olan kireçtaşları kullanılmaktadır. Kâğıt sanayisinde temel bileşimin kalsiyum karbonat (CaCO_3) olması nedeniyle, kaplama ve dolgu maddesi olarak mermer tozları kullanılmaktadır (Oğul, 2005).

15- Polimer Endüstrisinde İstifade Edilmesi: Plastik üretiminde genellikle dolgu maddelerine başvurulmaktadır. Bu dolgu malzemelerinden biri olan mermer tozu, diğer dolgu maddeleriyle birleştirilerek genellikle %30-40 oranında kullanılmaktadır. Bu nedenle, mermer atıklarının da benzer şekilde kullanılma potansiyeline sahip olduğu ifade edilebilir. Dolgu maddelerinin plastiklerdeki kullanım amacı, elastiklik, sertlik, büzülme direnci, mukavemet, iç gerilmeyi önleme, yüksek sıcaklıklara karşı direnç ve maliyet etkinliğidir (Ersoy vd., 2015).

16- Kireç Üretiminde İstifade Edilmesi: Mermer atık tozları, kalsinasyon ürünü olarak kireç elde etmek için kullanılabilir. Bu ürünler, yüksek CaCO_3 içeriğine sahip atıklardan elde edilebilir. Eğer bu toz atıklar %5'ten fazla MgO içeriyorsa, elde edilen kalsinasyon ürününe dolomitik kireç adı verilir (Ersoy vd., 2015). Kireç, genellikle kireçtaşı ve kalkerden oluşur, içeriğindeki maddelerin büyük bir kısmı kalsitten oluşur. Mermerin yapısında yüksek oranda kalsit bulunması nedeniyle, mermer atıklarının kireç üretimi sürecinde kullanılabileceği gözlemlenmiştir. Ancak bu amaçla belirli kimyasal işlemler gerekebilir (Erdemonar, 2022).

17- Tuğla Üretimine Katkı Sağlaması: Yapılan araştırmalara göre, belirli bir oranda mermer atık tozlarının katkı maddesi olarak tuğla üretiminde kullanılabileceği ve elde edilen ürünün yeterli mukavemete sahip olduğu tespit edilmiştir (Ersoy vd., 2015). Mermer tozlarının, sadece hammadde olarak değil, aynı zamanda katkı maddesi olarak da refrakter tuğla üretiminde kullanılabildiği gözlemlenmektedir. Bu uygulama, doğal çevreye olan olumsuz etkileri azaltmakta ve tuğla üretim maliyetinin düşürülmesine de katkı sağlamaktadır (Erdemonar, 2022).

18- Gaz Beton Ve Hafif Beton İmalatında Kullanılması: Gaz beton genellikle kumu, kireç, alçıtaşı, çimento, kuvars ve alüminyum tozu gibi malzemelerle üretilir. "Mermer Tozunun Gaz Beton Üretiminde Geri Dönüşüm Malzemesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması" adlı çalışmada, 100 µm altındaki mermer tozu, diyatomit, CEM-I-42.5-R çimentosu ve alçı gibi malzemeler kullanılarak gaz beton üretilmiş, elde edilen hamura sönmemiş kireç ve alüminyum tozu eklenmiştir. Üretilen gaz betonun, o dönemde geçerli olan TS 453 standardını karşıladığı gözlemlenmiştir. Bu çalışma, mermer tozunun yalnızca gaz beton değil, aynı zamanda hafif beton elemanlarının üretiminde de kullanılabileceğini ortaya koymaktadır (Keskin ve Şahmaran, 2018).

19- Hayvancılık Sektöründe Kullanılması: Mermer atık tozlarının hayvan yemlerinde Türk Standartlarına uygun bir şekilde kullanılabileceği vurgulanmaktadır. Bu kullanım için mermer tozlarının en az %92 oranında CaCO_3 içermesi gerekmektedir (Ersoy vd., 2015). Sadece yem üretimi değil, aynı zamanda hayvan yalama taşlarının üretiminde de mermer atık tozlarının içeriğinden faydalanılmaktadır (Erdemonar, 2022).

20- Cam Endüstrisinde Kullanılması: Cam üretiminin temel bileşenlerinden biri olan CaO , mermer atık tozları kalsine edilerek cam sanayisinde değerlendirilebilmektedir (Ersoy vd., 2015). Mermer bileşiminin içerdiği kalsit, çeşitli kimyasal işlemler sonucunda cam üretimi için uygun hale getirilmektedir (Erdemonar, 2022). Cam sanayisinde kireçtaşlarından özellikle kalsiyum ve magnezyum açısından zengin olanları tercih edilir. Kalsiyum açısından zengin malzemeler, genellikle şişe ve pencere camı üretiminde kullanılırken, magnezyum açısından zengin olanlar özel cam imalatında kullanılmaktadır (Bilgin ve Koç, 2013).

21- İnşaat ve Yapı Sektöründe Kullanılması: Atık mermer tozu ile polimer esaslı zemin kaplama malzemeleri geliştirilmiş ve çeşitli testler yapılmıştır. Ulaşılan sonuçlar, atık mermer tozlarının zemin kaplama malzemeleri içinde başarıyla kullanılabileceğini ortaya koymuştur. Ayrıca, hafif blok üretiminde ana hammadde olarak mermer tozu kullanılarak yapılan malzemeler üzerinde gerçekleştirilen testler olumlu sonuçlar vermiştir. Üretilen mermer tozu katkılı beton numunelerinde basınç, ultrases hızı ve su emme deneyleri uygulanmıştır. Sonuçlar, belirli oranlarda mermer tozunun karışıma eklenmesinin beton özelliklerine kısmi olarak olumlu etkiler sağlayabileceğini göstermiştir (Ersoy vd., 2015). Ayrıca, "yer karoları" olarak bilinen

sunı mermer üretiminde ana hammadde olarak kullanılan mermer, öğütölmüş veya çeşitli boyutlarda kırılmış şekilde boyutlandırılarak üretilmektedir. Renklerine göre gruplandırılan mermerler, kullanım amacına ve yerine bağılı olarak değeriendirilmektedir. Karo üretiminde mermer tozu boyutu 0,5 mm'nin altında ve %10 ile 12 oranında olacak şekilde kullanılmaktadır (Oğıl, 2005).

22- Fren Balataları Üretiminde Kullanılması: Atık mermer parçaları öğütölerek toz formuna getirilip fren balatası üretiminde dolgu malzemesi olarak kullanılmıştır. Bu uygulamanın, frenleme performansında olumlu etkiler sağladığı gözlemlenmiştir (Ersoy vd., 2015).

23- Tarım Sektöründe Kullanılması: Asidik özelliklere sahip topraklarda yetiştirilen ağaç ve bitkilerden maksimum verim alabilmek için toprakta kalsiyum ihtiyacının karşılanması önemlidir. Mermer toz artıklarının tarım alanlarında kullanılabilmesi için belirli tane boyutlarına ve en az %80 CaCO₃ içeriğine sahip olması gerekmektedir (Ersoy vd., 2015). Tarım gübre üreticileri, belirlenen standartlara uygun mermer atık tozlarını kullanarak verimli gübre formölasyonları elde etmektedirler (Erdemonar, 2022).

24- Mermer Toz Atıkları ile Hava Kalitesinin İyileştirilmesi: Büyük endüstriyel tesislerde kullanılan katı yakıtların yanması esnasında kükürt dioksit (SO_x) ortaya çıkar ve emisyonları atmosfere salınır. Bu emisyonların yanı sıra azot dioksit (NO_x), karbon monoksit (CO) ve hidrokarbonlar da belirli limitlerde tutulmalıdır. Çevreye zararlı gaz emisyonlarını kontrol etmek için çeşitli emici malzemeler kullanılabilir. Egzoz gazlarını temizlemek için kimyasal bir işleme tutulması veya dönüştürölmesi gerekebilir. Bazık özelliklere sahip malzemeler, yüksek sıcaklıklarda kükürt dioksit gazını etkili bir şekilde kontrol edebilir. Bu nedenle, çevresel etkileri azaltmak amacıyla mermer toz atıklarını kullanan desülfürizasyon ünitelerinin kullanımı önemlidir. Özellikle fırın çıkışlarında toz enjeksiyon malzemesi veya absorbant filtre malzemesi olarak mermer tozunun etkili bir şekilde kullanılabilceğı belirtilmiştir (Şentürk vd., 1996). Özellikle termik santrallerde ve akışkan yataklı kazanlarda, linyit yakımından kaynaklanan hava kirliliğine sebep olan sülfür dioksit (SO₂) gazının oranı, kireçtaşı veya dolomit gibi ekonomik ve kolay temin edilebilen minerallerin eklenmesiyle etkin bir biçimde kontrol altına alınabilmektedir. Kireçtaşı ve dolomit, kazan yatağında kalsine olur ve oluşan kalsiyum oksit (CaO), SO₂ gazını oksidatif koşullarda CaSO₄'e dönüştürerek yatak içinde tutulur. Bu sayede insan sağlığına ve çevreye zararı olduğı bilinen SO₂

gazının olumsuz etkileri ortadan kaldırılmaktadır (Oğul, 2005).

25- Diğer uygulama alanları: Mermer tozu, yukarıda belirtilen kullanım alanlarının dışında, kimya endüstrisinde, patlayıcı madde üretiminde, kauçuk üretiminde, şeker üretiminde, temizlik malzemelerinde, süs eşyası ve biblo yapımında, filtreleme işlemlerinde ve cam endüstrisinde de sınırlı ancak mevcut olan bir potansiyele sahiptir (Oğul, 2005).

Mermer atıkları, yukarıda belirtilen kullanım alanlarının dışında, otomobil lastiği üretiminde, soda imalatında, patlayıcı malzeme üretiminde, refrakter malzeme üretiminde, temizlik malzemeleri, haşere öldürücü ilaçlarda da kullanılmaktadır. Ayrıca madencilikte yer altı işletmeleri, flotasyonla, cüruf yapıcı, kalsine dolomit üretiminde de önemli bir rol oynamaktadır. Kompozitler, yüksek oranlarda dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bunların yanı sıra, mermer karpit üretiminde de kullanılır. Karpit malzemesi, elektrik fırınlarında kireçtaşı ve kok kömürlerinin şarj edilmesi sonucunda elde edilir. Kok ile kireçtaşı oranı genellikle %40 ile %60 arasındadır. Bu işlem için kullanılacak kireçtaşı saf ve yüksek kalsiyumlu olmalıdır (Bilgin ve Koç, 2013).

2.3. Mermer

Tarih boyunca mekânsal yapılar, ilk çağlardan itibaren mermerin kullanımına dayanmaktadır. Bu yapılar öncelikle temel ihtiyaçları karşılamak amacıyla küçük ve işlevsel konutlar olarak tasarlanmış, ancak zamanla sosyal değişimle birlikte bireylerin konfora, estetik duygulara, rahatlığa ve zevklere olan taleplerine paralel olarak evrim geçirmiştir. Ekonomik koşullar, toplumsal statü ve refah seviyesine bağlı olarak planların, formların, üretim yapılarının mermer, mozaik vb. malzemelerin ve mekânların büyüklüklerinin ve çeşitlerinin arttığı ifade edilmektedir (Akyıldız, 2018).

Mermerin temel yapısını oluşturan kireçtaşı sedimantasyonu ve oluşumu, yaklaşık 750-800 milyon yıl önce, ilk tortul kayaçların oluşumundan önceki prekambriyen dönemde başlamış ve günümüzde hala devam etmektedir. Mermer, uzun bir evrimsel süreç boyunca çökelme, tortullaşma, gömülme ve bu süreçlerin neden olduğu ısı ve basınç etkisiyle meydana gelir. Kalsiyum karbonatlı (CaCO_3) yapı meydana gelen

basınç altında zamanla suyu uzaklaştırarak taşlaşır. Bu süreçte mermer, CaCO_3 'den oluşur ve bünyesinde magnezyum, karbonatın yanı sıra az miktarda pirit, mika, kuvars, grafit, klorit, hematit, limonit gibi mineraller içerebilir. Bu mineraller, mermerin farklı renk ve görünüm kazanmasına katkıda bulunur (Okubay, 2016).

Mermer, inşaat malzemesi olarak yaygın biçimde kullanılan ve dekoratif amaçlarla sıkça tercih edilen bir taştır. Jeolojik tarihi oldukça uzun ve çeşitlidir. Mamul hale gelene kadar geçirdiği süreçte fiziksel ve kimyasal değişikliklere uğrar. Bu evrim süreci, farklı zaman dilimlerinde gerçekleşse de milyonlarca yıl sürebilir. Bilimsel anlamda, mermer kalker ve dolomit kalkerlerin ısı ve basınç altında metamorfize olması sonucu kristalleşen bir kayadır (Oğul, 2005).

Mermer, 3 213 sayılı Maden Kanunu tarafından 1985 yılında maden kapsamına alınmıştır. Mermer ve travertenle başlayan sektördeki gelişmeler, günümüzde diğer kayaç türlerinin de eklenmesiyle Dünya Doğal Taş Sektöründe önemli bir konuma gelmiştir. 2000'li yıllara kadar jeolojik kökeni itibarıyla metamorfik karbonatlı kayalara mermer denilirken, son 15-20 yılda ekonomik olarak işlem gören oniks, traverten, sert taşlar, kireçtaşı (bej), kayrak taşı gibi tüm kayaçlar genel olarak Doğal Taş olarak adlandırılmaktadır (Altındağ, 2018).

Ülkemizde rezerv açısından, mermer önde gelen maden kaynaklarından biridir. İşlenmeye başladığı Marmara bölgesinden adını alan mermer, 2000 yılı aşkın süredir işlenmekte olup, çevresindeki birçok medeniyetin oluşumunda ve gelişiminde temel bir rol oynamıştır. Zanaatkarların özenle işlediği mermer, medeniyetlerin ilerlemesiyle birlikte ibadethanelerden ulaşım yapılarına, büyük kamu binalarından, gündelik yaşamda kullanılan çeşmelere kadar geniş bir alanda hem temel ihtiyaçlar hem de sanatsal eserler için kullanılmıştır. Bu kullanım, endüstriyel gelişmelere bağlı olarak yıllar içinde katlanarak artmıştır (Okubay, 2016).

2.3.1. Mermer tanımı ve özellikleri

Mermerler, kalker (CaCO_3) ve dolomitik kalkerlerin ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) ısı ve basınç altında metamorfizmaya uğrayarak yeni bir yapı kazandıkları taşlardır (Oğul, 2005). Bilimsel tanıma göre, mermer; kireçtaşı (kalker) ve jeolojik olarak dolomitik formdaki kayaçların basınç ve ısı etkisiyle kristalleşmesi sonucu meydana gelir.

Metamorfizma geçiren kalker ve benzeri CO_3^{2-} (karbonat) bileşimli kayalara mermer denir. Bu kayalar gerçek mermer olarak anılır ve yüksek oranda kalsiyum karbonat, az miktarda magnezyum karbonat ve çeşitli metal oksitleri içerir. Arı (saf) halde beyaz veya yarı saydam olan mermerler, kimyasal çözünmeler ve biçimsel değişikliklerle sarı, pembe, siyah, vişne rengi gibi farklı renklere dönüşebilir. Ayrıca, jeolojik hareketlere bağlı kırılmalar nedeniyle meydana gelen boşluklara kalsitin dolması, damarlı bir yapı oluşturur. Bu damarlı yapı, günümüzde mermerin damarlı veya breşli olarak adlandırılan formunu oluşturur (Okubay, 2016).

Sanayi alanda kesilebilen ve cilalanabilen her türlü kaya, mermer kategorisine girmektedir. "Ticari" anlamda ismini bulunduğu yerden, renginden ve kalitesinden alan mermerler ise, kesilebilen ve parlatılabilen her türlü taşı içermektedir. Bu tanımlama kapsamında, gerçek mermerin ise birlikte iyi derecede parlatılabilen kalker, serpantin, traverten, oniks mermeri, granit, diyabaz, bazalt, arduvaz, kumtaşı, tektonik breş ve konglomera gibi taşlar da bulunmaktadır (Oğul, 2005).

Aşağıda bu tanımlara kısa bir şekilde yer verilmiştir.

1- Jeolojik tanıma göre; "kalker içeriğine sahip kayaların saflık ltnde düşük veya yüksek olarak tekrar tekrar kristalleşmiş hali" olarak ifade edilmektedir.

2- Petrografik Tanımlama; Kalsit kristallerinin oluşum sürecinde geçirdikleri başkalaşım türüne bağlı olarak kristaller arasında boşluk bulunmamasıdır.

3- Mineral Bileşim Oranlarına Göre Sıralama; Mermer, içerdiği minerallerin yüzdesel oranlarına ve bileşim türlerine göre sınıflandırılır.

4- Jeolojik Kökenlere Dayalı Mermer Sınıflandırması; Mermer, sedimanter, magmatik ve metamorfik kökenlere dayanarak üç ana başlık altında sınıflandırılır.

5- Ekonomik Bakış Açısından Sınıflandırma; Bu sınıflandırma, renk ve desen gibi faktörlerin yanı sıra mermerin fiziksel özellikleri ve cilalanabilirlik kapasitesi temel alınarak, küresel mermer piyasasında herhangi bir standarta bağlı olmaksızın gerçekleştirilir.

1- Geleneksel mermerler: Kalker, dolomit, konglomera gibi

2- Dayanıklı mermerler: Granit, serpantin, diyabaz gibi

3- Traverten ve oniks taşları

şeklinde sınıflandırmak mümkündür (Okubay, 2016).

6- Mermerlerin İşlenebilirliklerine Göre Kategorize Edilmesi; Mermerin

kesilebilme ve işlenebilme kabiliyetine bağlı olarak belirlenen sınıflandırma, sertlik düzeyine göre yapılan bir kategorizasyondur. Sektörde yaygın olarak kullanılan sertlik derecesi belirleme yöntemi genellikle Moh's Skalasıdır.

7- Mermerlerin Ticari Pazarlama Açısından Sınıflandırılması; Ticari değerlendirme bağlamında ele alınan mermer, diğer sınıflandırma yöntemlerinden farklı bir çizelgeyi beraberinde getirir. Bu sınıflandırmada, kesilebilme ve cilalanabilme özellikleri taşıyan her türlü doğal taş genel olarak "mermer" olarak adlandırılır. Bu sınıflandırmada temel kategoriler, gerçek kristalize mermerler, başkalaşım geçirmiş kayaçlar (serpantin vb.), sedimanter kayaçlar (kireçtaşı, traverten) ve magmatik kayaçlar (granit, andezit vb.) üzerine kurulmuştur (Okubay, 2016).

Mermerin Petrografik tanımı olarak, Masif, genellikle homojen irilikte (geçirmiş olduğu metamorfizma çeşidine göre) kalsit kristallerinin arasında aralık bırakmaksızın bir mozaik oluşturduğu ifade edilmektedir. Şistli yapı tekniğinden kaynaklanan, şist (yapraksı) yapılı ve şeker görünümlü mermerlere 'spolen' adı verilmektedir. Bu türler içinde grenat, feldspat, muskovit ve kuvars mineralleri de bulunabilir. Mermerin temel bileşeni olan kalker, kalsit kristallerinden ibarettir. Kalsitin öne çıkan bazı özellikleri şunlardır:

Kimyasal Bileşimi: CaCO_3 , Sertlik Düzeyi: 3, Özgül Ağırlığı: $2.2-3.5 \text{ gr/cm}^3$, Renk Tonu: Genellikle beyaz, Çizgi Rengi: Beyaz (Oğul, 2005)

2.3.2. Mermer üretimi

Dünya genelinde mermer üretimi ve talebi, 1970'li yıllara kadar belirgin bir artış göstermemişti. Ancak, 1970'li yıllardan itibaren ulaşım olanaklarının gelişmesi ve teknolojik ilerlemelerle birlikte üretim ve tüketimde önemli bir büyüme yaşandı. Bu büyüme eğilimi günümüzde de devam etmektedir. Bu artışın, ülkelerin milli gelir ve refah seviyeleriyle doğru orantılı olduğu açıkça görülmektedir. Küresel ölçekte, doğal taş üretiminin 2015 yılı itibariyle 300 milyon tonu aşmaktadır. Dünya genelindeki bu üretimin dağılımında, özellikle mermer gibi karbonat içeren kayaçların (oniks, traverten) yüksek rezervlere sahip olduğu, İtalya, Yunanistan, İspanya, İran vb. gibi Alp-Himalaya kuşağı ülkelerinde yoğunlaştığı görülmüştür. Ancak, mermer rezervlerinin kesin dağılımına dair nitelikli verilere ulaşmak

oldukça zordur. Maden ocaklarında çıkarılan mermerin büyük bir kısmının tüketildiği göz önüne alındığında, ciddi bir stok bulunmamaktadır. Son yıllarda, büyük yatırımcı şirketlerin modern ekipmanlarla maden üretimine katılması, sektör hacmini önemli ölçüde artırmıştır. Bu durum, Türkiye'nin küresel kapsamda üretim yapan ilk yedi ülke arasına girmesine olanak tanımıştır. Bu sektörde yapılan rekabet, özellikle Türkiye, Çin, Hindistan gibi yükselen ülkeler ile İtalya ve İspanya gibi sektörün lider ülkeleri arasında gerçekleşmektedir. Ülkelerin mermer üretim ve satış değerlerine bakıldığında, işlenmiş mermer satışı yapan ülkelerin daha yüksek getiri elde ettiği açıkça görülmektedir. Ham blok mermer satışı yerine işlenmiş mermer satışının tercih edilmesi, nakliye giderlerini ve üretim kayıplarını en aza indirdiğinden, getiri oranının artmasına sebep olmaktadır. Bu durum, Türkiye'nin muhtelif bölgelerinde bulunan maden ocaklarının çeşitliliğinin ülkeye büyük bir avantaj sağladığını göstermektedir (Okubay, 2016).

Türkiye, hem blok hem de işlenmiş mermer üretiminde dünyanın önde gelen ülkelerinden biridir. Ülkemiz, blok mermerde en büyük üretici konumunda bulunurken, işlenmiş mermerde başlıca rakipleri Çin Halk Cumhuriyeti ve İtalya'dır. Mermer satış miktarları bakımından olumlu bir konumda olmasına rağmen, birim satış fiyatları açısından rakiplerine göre aynı şartlarda olduğunu söylemek maalesef mümkün değildir (Kocabağ, 2018).

Türkiye genelindeki mermer rezervinin bolluğu göz önüne alındığında, Türkiye'nin yakın gelecekte rezerv konusunda sorun yaşamayacak ülkeler arasında olduğu ortaya çıkmaktadır. Araştırmalar, Türkiye'nin mermer rezervinin Anadolu'dan Trakya'ya geniş bir coğrafyaya yayıldığını göstermektedir. Bölgelerdeki mermer rezerv alanları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1-Batı Anadolu'da; İzmir, Milas, Tire, Yatağan, Torbalı, Kavaklıdere, Eskişehir, Afyon, Muğla ve Uşak illerinde

2-Trakya Bölgesi'nde; Kırklareli, Kofçaz ve Dereköy çevresinde

3-Doğu Anadolu Bölgesi'nde ise özellikle Elazığ ve Bitlis illerinde

Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından 2011 yılında yapılan araştırmalarda mevcut ve olası mermer rezervinin 5 milyar tonun üzerinde olduğu belirtilmiş ve potansiyel yataklarla birlikte bu rakamın 14 milyar tonu bulacağı ifade edilmiştir. Türkiye Mermer Rezervi Haritasına göre, mermer yatakları ülkenin

kuzeybatı ve batı bölgelerinde yoğunlaşmış durumda olup doğuda Elazığ ve çevresinde önemli rezerv bölgeleri bulunmaktadır. Türkiye'nin bu zengin rezerv potansiyeliyle kısa sürede uluslararası rekabet sıralamasında üst sıralara çıkması beklenmektedir (Okubay, 2016). Sayılara karşılık gelen ifadeler belirsiz olsa da, 2016 yılı itibarıyla sektörde 2 560 mermer işletme izinli ruhsat sahası (mermer ocağı), yaklaşık 2 000 tesis ve orta-küçük ölçekli 9000 atölye bulunmaktadır (Kocabağ, 2018).

Türkiye'de çeşitli mermer türleri aşağıda verilen farklı bölgelerden çıkarılmaktadır:

1-Hakiki Mermerler: Afyon (İşçehisar), Eskişehir (Seyitgazi), Muğla (Yatağan-Kavaklıdere), Uşak (Banaz), Denizli (Çamlık), Afyon (Sandıklı) ve Marmara Adası Mermerleri bu kategoride yer almaktadır.

2-Kalkerler ve Kireçtaşları: Bilecik (Gülümbe, Gölpazarı Söğüt), Balıkesir (Çayüstü), Eskişehir (Sarıcakaya, Akköy Sivrihisar), Kayseri (Develi), Burdur (Yeşilova), Manisa (Akhisar, Etkattepe), Muğla (Fethiye) gibi bölgelerde çıkarılan kalker ve kireçtaşları da önemli bir yer tutmaktadır.

3-Traverten ve Oniksler: Travertenler arasında Denizli (Pamukkale Karahayıt), Afyon-Kütahya yöresi, Nevşehir, Antalya yöresi, Çankırı (Eskipazar), Ankara (Malıköy, Haymana), Sivas (Çermik), Tokat yöresi gibi bölgeler bulunmaktadır. Oniksler ise Eskişehir (Yunusemre Oniksi), Kırşehir (Avanos Oniksi), Bilecik (Söğüt Oniksi), Kütahya (Tavşanlı Oniksi), Bolu (Mudurnu Oniksi), Denizli (Sarayköy Oniksi), Tokat yöresi gibi yerlerden çıkarılmaktadır.

4-Magmatik Kökenli Mermerler: Bu grupta Eskişehir (Siyenit), Balıkesir (Kapıdağ), Bursa (Armutlu), Gümüşhane yöresi granitleri bulunmaktadır (Oğul, 2005).

Herhangi bir mermer formasyonu maden ocak işletmeciliği perspektifinden değerlendirildiğinde; öncelikle yeterli rezervlere sahip olmalıdır, yani işletme için 40-50 yıl süreyle üretimi karşılayacak rezervlere sahip olmalıdır. Ayrıca, renk ve desen açısından homojen bir gruplamaya tabi olmalıdır. Maden yataklarındaki kesintisizlikler teoride minimum 4.5 m³ boyutunda olmalıdır ve kıymetli mermer grupları için en az 1.5 m³ boyutunda blok çıkarılabilme özelliklerine uygun olmalıdır. Bir doğal taş kültesinin mermer olarak kullanılabilmesi için ocakta "blok verebilme" özelliğine sahip olması gerekmektedir. Bu özellik, geniş yüzey yapısına

sahip taşların kesilebilmesini sağlar. İyi özelliklere sahip bir taş ocağı bulunsa bile blok verememesi durumunda, madencilik sektörü açısından bu taşın mermer olarak tanımlanması mümkün değildir. Mermerin kullanımı incelendiğinde, sert veya zayıf bölgeler plaka üretiminde sorun doğurabileceği için bloklarda bulunmamalı, eşit miktarda ve eşit sürede yüzeyine cila alabilmeli, kimyasal ve fiziksel özellikleri standartları karşılamalı ve üretilen mermer özellikle kimyasal etkiler ve dış fiziksel koşullara (atmosferik) dayanıklı olmalıdır (Okubay, 2016). Türkiye'nin 2023 yılı doğal taş ihracat hedefi çeşitli kaynaklarda 10 Milyar \$ olarak öngörülmektedir (Altındağ, 2018).

Türkiye'de yaklaşık 5.2 milyar m³ (13.9 milyar ton) mermer rezervi bulunmaktadır ve bu veri çeşitli kaynaklara göre dünya mermer rezervinin %33-40'ını oluşturmaktadır. Görünür rezerv ise bugünkü verilere göre 4 milyar m³ işletilebilir mermer, 2.8 milyar m³ işletilebilir traverten ve 1 milyar m³ granit şeklinde belirtilmektedir. 80'den fazla farklı yapıda ve 120'den fazla renkte ve farklı desende mermer rezervi mevcuttur. Renk ve doku çeşitliliği 650 olarak ifade edilen bazı kaynaklar bulunmaktadır. Bu ifadeler net verilere dayanmıyor gibi görünse de, Türkiye'nin mermer bakımından son derece zengin bir ülke olduğunu söylemek mümkündür. İstanbul Maden ve Metaller İhracatçı Birlikleri (İMMİB) verilerine göre, 2016 yılında blok mermer-traverten ihracatı 4.36 milyon ton ve 860 milyon dolarlık bir değerle Türkiye'nin en fazla ihraç edilen maden ürünü olmuştur. İşlenmiş mermer 1.53 milyon ton ve 695 milyon dolarla ikinci sıradayken, işlenmiş traverten 436 bin ton ve 199.7 milyon dolarla beşinci sıradadır (Kocabağ, 2018).

Doğal Taş (Mermer) Madencilik Yöntemlerinin Sınıflandırılması ve Doğal Taş İşletmeciliğinde (Mermercilikte) Jeomorfoloji çalışmasında ocak işletmeciliğinden bahsederken; doğal taş madencilik yöntemleri, topografik durum, iklim, ekonomi, çevre, üretim tekniği koşullarına göre farklı sınıflandırmalara tabi tutulurlar. Bu sınıflandırmalara ek olarak diğer kriterlere göre yapılan sınıflamalar da bulunmaktadır:

1- Çevresel koşullara göre doğal taş maden işletmeciliği: Açık ocak ve yeraltı doğal taş madencilği olmak üzere iki ana gruba ayrılır. Açık ocak madencilğinde, tüm kazı ve blok taş üretim faaliyetleri açık alanda ve açık havada, doğal ortamda gerçekleştirilir. Yeraltı doğal taş madencilğinde ise madencilik üretim işlemlerinin

tümü yeraltında, kısmi olarak ise doğal koşullar dışında gerçekleştirilir.

2- Blok çıkarmada kesme işleminin sürekliliğine göre; Kesikli doğal taş ve Sürekli (kesintisiz) doğal taş üretim yöntemleri olarak ikiye ayrılır.

3- Blok kesim/üretim teknolojilerine göre doğal taşın sınıflandırılması ise;

- 1- Çelik halatlı kesim makinası kullanılarak kesim/üretim yöntemi
- 2- Elmas telli kesim makinası kullanılarak kesim/üretim yöntemi
- 3- Dairesel testereli kesim makinası kullanılarak kesim/üretim yöntemi
- 4- Alev jeti ekipmanı kullanılarak blok kesim/üretim yöntemi
- 5- Su jeti ekipmanı kullanılarak blok kesim/üretim yöntemi
- 6- Zincirli/bantlı kollu kesme makinası kullanılarak kesim/üretim yöntemi
- 7- Delik delme makinası (sondaj) ile kesim/üretim yöntemi

4- Jeomorfolojik (jeolojik ve topografik yapı) konuma göre; Yamaç/sırt tipi doğal taş madenciliği, Ova tipi doğal taş madenciliği ve Doruk/tepe tipi doğal taş madenciliği şeklinde sınıflandırma yapılır (Kulaksız, 2012).

2.3.3. Mermerin kullanım alanları

Mermer, genel olarak inşaat sektöründe oldukça fazla tercih edilen bir malzemedir ve hem iç hem de dış dekorasyon için nitelikli bir seçenek olarak öne çıkar. İç dekorasyon bağlamında, mermer zemin ve duvar kaplamaları olarak kullanılabilir. Ayrıca banyo, mutfak ve tuvaletlerde lavabolar, tezgahlar, küvetler gibi dekoratif unsurları içerecek şekilde kullanılabilir. İnşaat sektöründe mermerin kullanım alanına bağlı olarak boyut ve kalınlığı değişiklik gösterir. Son yıllarda, özellikle kamuya açık alanlarda (kamu binaları, havaalanları, alışveriş merkezleri ve oteller) farklı renk ve kombinasyonlarda yoğun bir şekilde iç kaplamalarda kullanıldığı gözlemlenmektedir. Mermerin iç kaplamalarda daha yaygın olarak tercih edilmesinin nedeni, fiziksel aşınmalara karşı göreceli düşük direnci, renk çeşitliliği ve özellikle dış ortamın etkilerine karşı cilasını uzun süre koruyamamasıdır. Dünya genelinde, mermer ve benzerleri yerine dış cephe kaplamalarında daha uzun ömürlü olan granit ve traverten gibi malzemelerin tercih edildiği bilinmektedir (Okubay, 2016).

Mermerin çeşitli kullanım alanları bulunmaktadır. Bugün, başlıca tüketim alanları inşaat sektörü, dekorasyon, mezarlık ve güzel sanatlardır. İnşaat sektöründe, mermer binaların iç ve dış kaplamalarında, yer döşemelerinde, merdivenlerde, giriş

kısımlarında, mutfaklarda, şöminelerde ve banyolarda kullanılmaktadır. Özellikle turistik bölgelerde konumlanan otel ve motellerde, mimari estetiği vurgulamak amacıyla mermer tercih edilmektedir. Ayrıca park ve bahçelerde, büyük şehirlerin cadde ve kaldırımlarında da mermer kullanımı artmaktadır. Hijyenik koşulların önemli olduğu kamusal alanlarda (hastaneler, havaalanları gibi) ve üretim tesislerinde, granit kullanımı giderek artmaktadır. Granit, dekoratif desenleri ve yüksek dayanıklılığı ile öne çıkarak özellikle seçici projelerde tercih edilmektedir. Parke taşları, üretiminin kolaylığı ve estetik kaygılar nedeniyle geniş bir kullanım alanına sahiptir. İnsan gücüyle, çekiç, murç gibi aletler kullanılarak bol miktarda üretilen parke taşları, özellikle eski yapıların restorasyon projelerinde vazgeçilmez malzemelerdir. Hem işlevselliği hem de estetik kaygılar gözetilerek kullanılan parke taşları, yoğun olarak kullanılan araç ve yaya trafiğinin bulunduğu yerlerde, kimyasal maddelere karşı direnci nedeniyle duvar kaplaması olarak da tercih edilmektedir. Kaygan olmaması gereken alanlarda zemin kaplamalarında sıklıkla kullanılan parke taşları, farklı renklerdeki kombinasyonlarıyla dekoratif cephe kaplamalarında, avlu girişlerinde, bahçe yollarında, meydanların kaplanmasında, gezinti yerlerinde ve teraslarda tercih edilmektedir. Ayrıca, aşırı yüklere ve asidik ortamlara mukavemet gerektiren endüstriyel ortamlarda da parke taşları yaygın olarak kullanılmaktadır (Oğul, 2005).

Mermerin kullanım alanlarına göz attığımızda, geçmiş yıllarda sağlamlığı nedeniyle öncelikle sanatsal projelerde tercih edilen mermer, günümüzde inşaat endüstrisi başta olmak üzere süs eşyaları üretimi, dekorasyon işleri, mezarlık ve heykeltirlik gibi çeşitli sektörlerde kullanılmaktadır. Büyük bloklardan kesilen plakalar, yer döşemelerinden merdivenlere, mutfak ve banyo tasarımlarından şöminelere, binaların iç ve dış cephe kaplamalarına kadar geniş bir yelpazede kullanılabilir. Renkli mermer, yeşil mermer, damalı mermer ve oniks mermer özellikle masa, süs eşyaları, biblo, sehpa, kül tablası ve avize gibi ürünlerin imalatında tercih edilmektedir. Sanatsal projelerde ise arı beyaz renkli mermer en değerli olanıdır. Mermerin en yoğun kullanıldığı ülkeler arasında Amerika Birleşik Devletleri ve Almanya öne çıkmaktadır. Ancak son dönemde Doğu ve Orta Doğu ülkelerinde de mermer kullanımında artış gözlemlenmektedir (Rahimi, 2021).

2.4. Literatür Özeti

Ülkemiz ve dünya literatüründe parke taşlarıyla ilgili çalışmalar, beton ve beton özellikleriyle ilgili çalışmalara göre sınırlıdır. Beton üretiminde ve parke taşlarında ikame ürün kullanımı konusunda ülkemizde yapılan çeşitli çalışmalar bu başlıkta özetlenmiştir.

Türk Standartları Enstitüsü'nün parke taşları için oluşturduğu "Parke Taşları-Beton" adlı standartta (TS 2824 EN 1338, 2005), parke taşlarının ürün özellikleri, malzeme özellikleri ve uygulanan deney metotları şeklinde detaylıca açıklanmıştır. Bu deneyler arasında basınç ve aşınma dayanımı ile donma çözülme dayanımı tayinleri üzerinde durulmuştur. Ayrıca, İngiliz standartlarından biri olan "Concrete Paving Blocks – Requirements and Test Methods" başlıklı standartta parke beton bloklarının oluşumuyla ilgili tanımlamalar ve uygulanan metotlar da detaylı bir şekilde anlatılmıştır (Tekmen, 2006).

Tekmen (2006), araştırmasında, ülkemizde yaygın olarak kullanılan kireçtaşlarından üretilen kilitli beton parke bloklarını mekanik özellikleri açısından değerlendirmiştir. Çalışma, kilitli parke taşlarının yer dekorasyonunda kullanımının ülkemizde hızla yaygınlaştığını belirtmiştir. Maliyetin kilitli parke taşlarının üretiminde çimento miktarının artmasıyla birlikte arttığını vurgulamıştır. Maliyeti düşürmek için agrega miktarının artırılabilmesi veya çimento miktarının azaltılması için kilitli parke taşı bileşimine uçucu kül, cüruf gibi atık malzemelerin eklenebileceğini belirtmiştir. Böylece atık malzemelerin ekonomiye katkı sunması ve çevre kirliliğinin önlenmesi sağlanabilir. Ancak, bu atık malzemelerin kullanımı esnasında kilitli parke taşının mühendislik özelliklerini yükseltici düzeyde katılması gerektiği ifade edilmiştir. Bu malzemelerin ülkemizde bol miktarda bulunmasından dolayı, atık malzemelerden üretilen kilitli parke taşlarının ülke ekonomisine önemli derecede katkılar sağlayabileceğini öne sürmüştür.

Açıkgöz (2008)'ün Uçucu Küllerin (UK) Beton Kilitli Parke Taşı Üretiminde Kullanımını Araştırılması çalışmasına göre, yüksek oranda UK kullanımı genel olarak dayanım oranını düşürmüştür, ancak erken yaşta (28 gün) tuz etkisi altında daha yüksek bir dayanım sergilemiştir. UK ikame oranındaki artış, taze betonun su

ihtiyacını artırmış, yüksek UK oranına sahip numunelerin s/b oranı sabit tutulduğu için iyi sıkışmamış olduğu gözlemlenmiştir. Çalışmada sabit s/b oranı uygulandığı için, farklı UK ikame oranlarıyla işlenebilirlikte farklı parke taşları üretilmiştir. Bu durum, boyutlarda büyük değişikliklere neden olmuştur. UK kullanımının aşınma direncini azalttığı belirlenmiştir. Bu nedenle, UK içeren parke taşlarının yüzey kısmının, aşınmaya karşı daha dayanıklı malzemelerle kaplanması önerilebilir. UK ikame oranı yüksek numunelerde, üretim sırasında uygulanan sıkıştırma süresinin daha uzun tutulması durumunda sonuçların daha iyi olabileceği düşünülmektedir. UK kullanılan numunelerin aşınma direnci ve su emme oranı, tuzlu su kürü altında daha düşük bulunmuştur. Ayrıca, mermer atıklarının beton içinde ikame agrega olarak kullanılması deneylerinde, aşınma direnci ve su emme oranı yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Ceylan ve Mança (2013) tarafından gerçekleştirilen çalışma, mermer parça atıklarının beton üretiminde agrega olarak kullanılması hedefiyle gerçekleştirilmiş ve elde edilen deney sonuçları olumlu bir çizelgeyi ortaya koymuştur. Kontrol grubu olarak tercih edilen kırmataş agregası ile parça mermer atıkları arasında yapılan karşılaştırmalı analizler, Kuru Birim Hacim Ağırlığı (KBHA), Los Angeles aşınma direnci, özgül ağırlık, don kaybı ve don kaybı sonrası aşınma deneylerinde standartlara uygun sonuçlar elde edilmiştir. Mermer atık agregalarına ait değerler, kontrol grubu olan kırmataş agregalarına oldukça benzer sonuçlar sergilemiştir. Bu sonuçlar, mermer agrega olarak atıklarının kullanılabilirliğini somut bir şekilde ortaya koymaktadır. Ayrıca, daha sonra üretilen beton numuneleri üzerinde yapılan değerlendirmelerde elde edilen basınç değerleri, bu olumlu sonuçları güçlendirmektedir. Mermer atık agregaları ile kontrol grubu kırmataş agregaları kullanılarak üretilen beton numuneleri, tek eksenli basınç dayanımı, Schmidt yüzey sertliği ve ultrasonik ses geçirgenliği gibi kritik parametrelerde uygun değerlere sahiptir. Bu verilere dayanarak, mermer atıklarının iri ve ince agrega olarak beton üretiminde etkili bir şekilde kullanılabileceği düşünülmektedir. Elde edilen bu bulgular, yapılan deneylerin güvenilirliğini destekleyen niteliktedir.

Çelik vd. (2016)'nin yaptığı araştırmada, doğaltaş kırmataşların kilitli beton parke bloklarının mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Bu çalışmada, bazalt, andezit ve mermer numuneleri belirli fraksiyonlara ayrılmış (0-4 mm ve 4-12 mm), ardından

bu numuneler beton karışımında agrega olarak kullanılmıştır. Deneylerin sonuçlarına göre, mermer ve bazalt kökenleri farklı olsa da dayanım sonuçları birbirine oldukça yakındır. Ancak, andezit numuneleri geç dayanım almakta ve aynı zamanda yüksek dayanım değerlerine ulaşmamaktadır. Bu durum, andezitin üretimde kullanılmasının zaman açısından dezavantajlı ve dayanım sonuçları bakımından daha düşük olacağını göstermektedir. Bazalt agregaları yüksek dayanımlar sağlamakla birlikte, yüksek sertlik ve rezerv bakımından her bölgede bulunmama özellikleri nedeniyle kullanım olasılığı düşüktür. Mermer, bazalta göre daha düşük sertlikte olup, eleme ve kırma maliyeti daha düşüktür. Aynı zamanda rezerv bakımından birçok bölgede bulunmaktadır. Yapılan deneylere göre, TSE ölçütlerine uygun sonuç veren mermerler, maliyet ve kalite kapsamında üretim için en uygun hammadde olarak önerilmektedir. Bu çalışma, tezin konusu olan mermer atıklarının agrega olarak geri dönüşüme kazandırılmasının ekonomik ve uygulanabilirlik açısından isabetli bir seçenek olduğunu göstermektedir.

Durmuş ve Şimşek (2008)'in ifadesine göre, beton kilit parke taşı üretiminde Uçucu Kül (UK) kullanıldığında, beton kilit taşının dayanımında standart ve tuzlu kürlerde beton kilit taşının yaşı arttıkça dayanımında da artış gözlenmektedir. Tuzlu su kürü, yarmada çekme dayanımında standart küre göre dayanımının daha düşük olduğu görülmüştür. Kilitli parke taşlarının üzerine yapılan aşınma dayanımında genel olarak tuzlu su kürüne maruz kalmış numunelerin aşınma kaybı değerleri daha yüksektir. Standart kür ile tuzlu kür karşılaştırıldığında; standart kürede aşınma kaybı değerleri daha düşüktür. UK ikame oranının artmasıyla aşınma dayanım değerlerinde artış gözlenmektedir. Tuz küründe bekletilen parke taşları zaman içinde dayanım kaybına neden olmaktadır. Kilitli parke taşında mermer agregaların kullanılması durumunda elde edilen veriler, tuzlu suda priz aldırılmış olan numunelerin dayanımının standartlarda kaldığı ve dış etkilere etkilenmediği şeklinde gözlemlenmiştir.

Erdemonar (2022)'in çalışmasına göre, mermer atıklarının yapı malzemesi olarak kullanılmasında, atık oranını azaltmak amacıyla mermer fabrikalarında ve ocaklarında testere bıçaklarının kalınlıklarının azaltılması veya modern teknolojik aletlerin kullanılması önerilmektedir. Mermer kesimi esnasında oluşan atık suların kontrol altına alınması için filtre sistemleri ve çöktürme havuzları kullanılmalıdır.

Projelere bağılı olarak, mermer atıkları endüstriyel sektörde kullanılabilir hale getirilip yeniden değerlendirilebilir. Yetkili kurumlar ve özel sektörde faaliyet gösteren firmalar, mermer atıklarının değerlendirilmesi kapsamında çalışmalar ve projeler geliştirmelidir. Mermer ocaklarında kazıya geçilmeden önce, rezerv yoğunluğunun yüksek olduğu bölgelerde kazılar başlatılmalıdır. Bu sayede mermer çıkarma işlemi sırasında oluşan atık miktarı azaltılabilir. Mermer atıklarının ekonomiye kazandırılabilmesi için geri kazanım politikaları geliştirilmeli ve desteklenmelidir. Mermerin ocaktan çıkarma ve fabrikada işleme yöntemleri doğal yapısına uygun olarak belirlenmelidir. Mermer ocaklarının işlevini tamamlaması durumunda, içinde bulunduğu doğal ortama uygun bir şekilde restore edilmelidir. Bahsedilen geri kazanım politikalarının geliştirilebilmesi için bilimsel araştırmalara ve deneysel çalışmalara ihtiyaç vardır.

Topçu ve Uygunoğlu (2010)'nın yaptıkları araştırmada, agrega ocaklarından elde edilen kırmataşın yerine atık mermer agregalarının kırılarak betonda kullanılması incelenmiştir. Farklı su bağlayıcı oranlarıyla üretilen betonların basınç dayanımları, mermer atığı kullanılması durumunda ve en düşük su bağlayıcı oranında kırmataş agregası kullanılan betonlara göre %12 oranında düşük bir değer elde edilmiştir.

Ancak genel olarak değerlendirildiğinde, mermer agregalarının kırmataş agregaları yerine tercih edilmesi durumunda dayanım kaybı gözlemlenmemiştir. Su-bağlayıcı oranı düşük tutularak gereken dayanım standartları elde edilebilir. Bu yöntemle agrega maliyeti azaltılarak doğrudan beton maliyeti ve yapı birim fiyatı düşürülerek ekonomik kazanç elde edilecektir. Öte yandan, endüstriyel ve çevresel atık olan mermer atıklarının değerlendirilmesi sonucunda çevre kirliliği de önemli oranda azaltılmış olacaktır. Bu çalışmada aynı yöntem kullanılarak kilitli parke taşlarında atık mermer parçalarının agrega olarak kullanılması önerilmiş ve atık sorununun ekonomik bir yöntemle çözülmesine katkı sağlanmıştır.

Filiz ve diğerleri (2010)'nin çalışmasına göre, atık mermer tozunun parke taşlarında kullanılmasıyla ilgili elde edilen bulgular, çimento çeşidinin s/ç oranı ve mermer tozu (MT) yer değiştirme oranının değişimine göre incelenmiş ve ilgili standarda göre (TS 2824 EN 1338, 2005) değerlendirilmiştir. Parke taşları kullanımları sırasında aşınma, çekme, basınç ve donma-çözülme etkilerine oldukça fazla maruz kalmaktadır. MT'nun endüstriyel bir atık olarak parke taşlarında kullanılabilirliğinin

araştırılmış, TS 2824 EN 1338'e göre mermer tozunun parke taşı imalatında kullanılabileceği ve elde edilen numunelerin mekanik ve fiziksel performansını artırdığı sonucuna varılmıştır.

Babalık (2022) tarafından yapılan çalışmada, geri dönüştürülmüş agrega kullanımının çevresel etkileri, yaşam döngü değerlendirme (YDD) yöntemi ile incelenmiştir. Çalışmada, 1 m³ genişletilmiş dolgu agrega betonu (GDAB) ve normal betonun (NB) üretiminin çevresel etkileri değerlendirilip karşılaştırılmış, ayrıca sadece çevresel etkilerin hesaplanmasında kullanılan madde ve enerji girdileri temel alınarak basit bir maliyet analizi yapılmıştır. İncelemede GDAB üretiminde taşıma mesafeleri ve kullanılan süper akışkanlaştırıcı malzemenin değiştirilmesinin çevresel etkileri azaltılabileceği belirlenmiştir. Ayrıca, çalışmada NB ve GDAB üretiminin çevresel etkisini en çok etkileyen unsurun çimento üretimi olduğu görülmüştür. Bu nedenle, çimento üretiminden kaynaklanan çevresel etkileri azaltmak amacıyla kullanılan çimento alternatif malzemelerle üretilen GDAB'ın çevresel etkilerinin gelecekteki çalışmalarda daha detaylı olarak incelenmesi önerilmiştir. Çalışma, atık mermerlerin sadece beton ve kilitli parke taşlarında değil, aynı zamanda çimento üretiminde de kullanılabileceğini destekler niteliktedir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmada uygulanan deneyler Türk standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Deneyler Özkul Beton Elemanları A.Ş. ye ait laboratuvarlarda yapılmıştır. Çalışmada Ankara ili ve çevresinde faaliyet gösteren mermer fabrikalarından çıkan mermer atıklarından elde edilen kırılmış agregalar kullanılmıştır. Bağlayıcı olarak CEM I 42.5 R tipi Portland çimentosu kullanılmıştır. Beton karışım suyu olarak fabrika şebeke suyundan faydalanılmıştır. Çalışmada agrega olarak; “4-8 mm” boyutlarında doğal agrega ile atık mermerden elde edilen “3-5 mm” boyutlarında mermer agregalar ikame olarak kullanılmıştır. Ayrıca yarmada çekme deneyi, tuzlu su emme deneyi, aşınma direnci deneyi ve basınç dayanımı deneyi ile elastisite modülü tayini yapılmıştır.

3.1. Materyal

3.1.1. Mermer agrega

Deneysel materyal olarak kullanılan doğal agregalar, fabrikada beton parke taşlarının imalatında kullanılan ve kırılmış olarak hazır gelen malzemelerden sağlanmıştır. Mermer agregaları ise Ankara’da bulunan mermer atölyelerinden temin edilmiştir. Yapılan deneylerde atık mermer parçaları, fabrikada bulunan kırıcı makinesi vasıtası ile 3-5 mm boyutlarına getirilerek, ince agrega olarak kullanılmıştır. Bu işlemler için fabrikadaki büyük ve küçük çeneli iki farklı ağız açıklığına sahip kırıcılar kullanılmıştır. Kırma işlemi esnasında agregalar ilk önce 9-5 mm sonra 5-3 mm çaplarına sahip iki farklı boyuta getirilmiştir. Daha sonra elde edilen agregalar elek analizine tabi tutularak deneylerde kullanılacak olan standartlardaki boyutlar sağlanmıştır.

3.1.2. Çimento

Deneylerde bağlayıcı olarak kullanılan çimento CEM I 42.5 R tipi Portland çimentosu olup, fabrikada kilitli parke üretiminde kullanılmaktadır. Bu çimentonun özellikleri şu şekildedir: Priz Başlama Süresi ≥ 60 dakika, Genleşme $\leq \%10$, 2 Günlük Dayanım ≥ 20.0 MPa, 28 Günlük Dayanım ≥ 42.5 N/mm² ≤ 62.5 N/m m²,

Özgül Yüzey 3400 – 3900 c m² /g.

Karışımlarda kullanılan su, Ankara’da halkın kullanımına sunulan şehir şebekesinden temin edilmiştir.

3.1.3. Deney numunelerinin hazırlanması

Numunelerin hazırlanması esnasında kum ile birlikte, %80 doğal agrega ile %20 oranında mermer agrega ve çimento mikserde koyularak kuru halde karıştırılmıştır. Homojen bir yapıya geldikten sonra mikserde su konularak karıştırılmaya devam edilmiştir. Buradan elde edilen harç kalıplara dökülerek kilit taşı şekli verilmiştir. Kalıplara dökülen numuneler, priz alması için fırına gönderilmiştir. Fırınlanmış numuneler bu işleminden sonra deneylerdeki standartları sağlaması için 28’er gün normal ve TS EN 1008 standartlarına göre hazırlanmış (4 500 mg/L oranında tuz) tuzlu suda bekletilmiştir. Aynı işlemler söz konusu süreç dahilinde %40, %60, %80 ve %100 oranlarında mermer agregası kullanılarak tekrarlanmıştır. Buna ilave olarak basınç dayanım deneyinde kullanılmak üzere bir kenarı 10 cm olan küp şeklinde numuneler hazırlanmıştır. Bu numunelerde de bahsi geçen oranlarda mermer agregası ikame olarak kullanılarak aynı süreçlerde tuzlu ve normal suda bekletilip priz aldırılmıştır (Şekil 3.1). Bahsedilen sürenin sona ermesi akabinde hazırlanan numuneler deneylerde kullanılmak üzere laboratuvara sevk edilmiştir. Hesaplamalar doğrultusunda deneyde kullanılan malzeme miktarları Çizelge 3.1’de aşağıda verilmiştir.

Çizelge 3.1. Deneyde kullanılan malzeme miktarları

NO	İKAME YÜZDESİ (%)	ÇİMENTO (kg/m ³)	Su (kg/m ³)	Kum (kg/m ³)	Doğal Agrega (kg/m ³)	Mermer Agrega (kg/m ³)	Toplam Ağırlık (Kg)
1	0	250	375	625	1 250	-	2 500
2	20	250	375	625	1 000	270	2 520
3	40	250	375	625	750	540	2 540
4	60	250	375	625	500	850	2 600
5	80	250	375	625	250	1 170	2 670
6	100	250	375	625	-	1 440	2 690



Şekil 3.1. Deney hazırlıkları

3.2. Deney Yöntemleri

Çalışmada uygulanan tüm deneyler Türk Standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Deneyler Özkul Beton Elemanları A.Ş.ye ait laboratuvarlarda yapılmıştır (Şekil 3.2). Agregası olarak tane çapı en fazla 8 mm olan kalker kökenli kırmataş agregası ile tane çapı en fazla 5 mm olan atık mermer agregası kullanılmıştır. Karışımlarda şebeke suyu kullanılmış olup herhangi bir kimyasal katkı malzemesi kullanılmamıştır. Çalışma kapsamında Karayolları Teknik Şartnamesi (2013) beton parke taşları özelliklerine uygun olarak doğal agregası gradasyonu hazırlanmıştır (Anonim, 2013). Bu gradasyonu sabit tutularak atık mermerler agregası karışım grubuna kütlece %20,

%40, %60, %80 ve %100 oranında ikame edilmiştir. Dört ayrı deneye tabi tutulan beş farklı (%20, %40, %60, %80 ve %100) karışım oranına sahip numune gruplarında toplamda 60 adet beton parke taşı numunesi ve 20 adet küp numunesi hazırlanmıştır. Deney raporlarında katkısız şahit numuneler %0 olarak gösterilmiştir. Bu şahit numuneler için daha önceden fabrikada üretilen doğal agregalı kilit parke taşları kullanılmıştır. Tüm deneyler normal su ve tuzlu su olmak üzere iki adet kür ortamında 28 er gün bekletilerek yapılmıştır. Deneylerde, beton tasarımında beton sınıfı C25 seçilmiştir.



Şekil 3.2. Laboratuvar ortamı

3.2.1. Yarmada çekme dayanımı deneyi

Yarmada çekme deneyi TS 2824 EN 1338'e göre yapılmıştır. Klasik 8 cm kalınlığında kilit taşı şeklinde hazırlanan numuneler (20-25) °C sıcaklıktaki suda yirmi sekiz gün süreyle bekletilmiştir. Sudan çıkarılan numuneler kurutularak (sadece yüzeyindeki sular giderilene kadar) deneye tabi tutulmuştur. Bu deney için öncelikle numuneler arasından rastgele seçilen 5 adet katkısız şahit numune yarmada çekme deneyine tabi tutularak ortalama değerler bulunmuştur. Aynı deney tuzlu su küründe bekletilen şahitli numunelerde tekrarlanmıştır. Bundan sonra normal suda

bekletilen katıklı numuneler ile tuzlu suda bekletilen katıklı numuneler üzerinde deneyler tekrarlanmıştır. Bu deneyde numuneler test makinesine, kilit taşının uzun kenarına paralel olacak şekilde yerleştirilmiştir. Test makinesi yükü saniyede 0.01 MPa ile başlayarak saniyede 0.05 MPa'yı geçmeyecek şekilde uygulanmıştır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Yarmada çekme dayanımı deneyi

3.2.2. Su- Tuzlu su emme deneyi

Deneye tabi tutulan numuneler, oda sıcaklığında (yaklaşık 20-25°C) 28 gün süre ile su dolu havuzda bekletilmiştir. Bu sürenin sonunda su havuzunda bekletilen numuneler çıkartılarak bir bez yardımı ile kurulanmış ve ilk tartımı yapılmıştır. Tartılan numune 3 gün süre ile 105°C sıcaklıkta sabit kuru kütleye ulaşınca kadar kurutulmuştur. Kurutulan numuneler tekrar tartılmıştır. Standartlara göre son tartılan değer ile ilk tartılan değer arasındaki kütleli değişim en fazla % 6 olması gerekmektedir. Aynı işlemler tuzlu suda bekletilen numunelere de yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen değerler bu sınırın altında kalmıştır.

3.2.3. Aşınma direnci deneyi

Parke taşının üst yüzünü standart şartlar altında aşındırıcı çark ile aşındırması yapılarak aşınma direnci deneyi uygulanmıştır. Aşındırma makinesi 75 dev/dk'da çalışan ve bir mil etrafında dönmesini sağlayan bir mekanizmadan oluşmaktadır.

Deney, hazırlamış olduğumuz (normal su ve tuzlu su küründe bekletilmiş) orijinal ölçülerdeki beton kilit taşları üzerinde yapılmıştır (Şekil 3.4). Deneyden hemen önce, işlem yapılacak numune yüzeyi, tel fırça ile temizlenmiştir. Numuneler deneye tabi tutulmadan önce hassas kumpasla ölçülmüştür. Numune taşıyıcı teşkilata yerleştirilerek, aşındırma makinesi çalıştırılmıştır. Aşındırıcı dişler numunenin üzerinde 75 dev/dk'ya çıkana kadar uygulanmıştır. Bu aşamadan sonra aşınmaya maruz kalmış numuneler yerinden çıkarılarak, tel fırça ile temizlenmiştir. Bu aşındırma işlemi aynı şekilde dört kere uygulanmıştır. Son işlem olarak makineden alınan numuneler temizlenerek kumpasla ölçüm yapılmıştır. Deneyden çıkan numune ölçümleri sonucunda, ilk ölçümle son ölçüm arasındaki fark mm cinsinden tespit edilmiştir.



Şekil 3.4. Aşınma direnci deneyi

3.2.4. Basınç dayanımı deneyi

Basınç dayanımı deneyi TS EN 12390-3'e göre yapılmıştır. Bir kenarı 10 cm olan küp şeklinde 20 adet numune hazırlanmıştır. Bu numunelerde de kilit parke numunelerinde uygulanan mermer agregası ikame yüzde oranları aynı şekilde uygulanmıştır. Hazırlanan numuneler (20-25) °C sıcaklıktaki normal ve tuzlu suda yirmi sekiz gün süreyle bekletilmiştir. Sudan çıkarılan numuneler kurutulularak (sadece yüzeyindeki sular giderilene kadar) deneye tabi tutulmuştur. Bu deneyde küp numune test makinasına beton dökme yönüne dik bir şekilde, merkezleme aparatı yardımı ile konumlandırıldıktan sonra teste başlanmıştır. Test makinası 200

ton basınç kapasiteli bir pres olup numunelere uygulanan yük düşük seviyede başlayıp numune kırılana kadar periyodik olarak otomatik bir şekilde arttırılmıştır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Basınç dayanımı deneyi

3.2.5. Elastisite modülü tayini

Betonun elastisite modülü literatürde çeşitli şekillerde tanımlanmıştır. Bunlardan en yaygın olanlar şunlardır:

1- Başlangıç elastisite modülü, $(\sigma-\epsilon)$ eğrisinin başlangıç noktasına çizilen teğetin eğimini ifade eder. Bu modül aynı zamanda dinamik modül olarak adlandırılır. Beton düşük gerilmelere maruz kaldığında, başlangıç modülü kullanılarak daha gerçekçi sonuçlar elde edilebilir.

2-Teğet modülü, $(\sigma-\epsilon)$ eğrisine herhangi bir noktada çizilen teğetin eğimini ifade eder.

3-Sekant modülü, orijinden geçen $(\sigma-\epsilon)$ eğrisine herhangi bir noktada çizilen sekantın eğimini tanımlar. Genellikle sekant modülü, gerilme düzeyini belirlemek için $(0,5f_c)$ noktasına göre hesaplanır.

Bu tanımlamalar, betonun mekanik özelliklerini tanımlamak ve analiz etmek için farklı perspektifler sunar (Dandin, 2009).

Pratikte hangi elastisite modülünün kullanılacağı, karşılaşılan probleme bağlı olarak belirlenir. Elastisite modülü, yükleme hızına bağlı olarak değişiklik gösterir. Bu durumun temel nedeni, betonun zamanla deformasyon gösteren bir malzeme olmasıdır. Yapılan deneyler, betonun kalıcı yükler altında önemli ölçüde deformasyona uğradığını göstermiştir. Kısa vadeli deformasyonun yanı sıra, sünme

nedeniyle ortaya çıkan deformasyonu hesaplamak için elastisite modülünü azaltmak gerekebilir. Azaltılmış elastisite modülü, hesaplama amaçlı bir değer olup, fiziksel bir anlam taşımaz. Bu hesap değerinin belirlenmesi, kalıcı yükün büyüklüğüne bağlı olarak değişir ve genellikle başlangıç değerinin yarısı veya üçte biri kadar olabilir.

Betonun elastisite modülünü doğru ve kesin bir şekilde tanımlamak mümkün olmadığı için, pratikte kullanılan elastisite modülü değerleri genellikle belirli bir yükleme durumuna ve süreye bağlı olarak değişir. Bu değerler, betonun basınç dayanımını ve $(\sigma-\epsilon)$ ilişkisini etkileyen çeşitli faktörlere bağlıdır. Bu nedenle, elastisite modülünü tam olarak belirlemek zordur. Çeşitli ülkelerde geçerli olan yönetmeliklerde, elastisite modülü genellikle beton basınç dayanımının bir fonksiyonu olarak ifade edilir. Bazı yönetmeliklerde, hafif betonun içine katılan hava dahil betonun ağırlığı da dikkate alınır. Aşağıda TS-500/2 000 yönetmeliğinde önerilen elastisite modülü hesap formülü verilmiştir. Ancak bu değerler, kalıcı yük durumunda zamanla yarı yarıya veya üçte birine kadar azalacaktır. Aşağıdaki denklem (3.1), SI birimleri cinsinden yazılmış olup, metrik eşdeğeri parantez içinde verilmiştir (Dandin, 2009).

$$E_{cj} = 3250 \sqrt{f_{cj}} + 14000 \text{ (metrik, } 10270\sqrt{f_{cj}} + 140000) \quad (3.1)$$

E_{cj} : j günlük betonun elastisite modülü

f_{cj} : j günlük betonun basınç dayanımı

Genelde elastisite modülü denince, 28 günlük betonun ani yükleme altındaki elastisite modülü anlaşılır. E_{c28} yönetmeliklerdeki değerler, “sekant” elastisite modülleridir

4. BULGULAR

4.1. Yarmada Çekme Dayanımı Bulguları

Numunelere uygulanan yarmada çekme deneyine ait sonuçlar Çizelge 4.1.'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Yarmada çekme dayanımı deneyi sonucu

NO	İKAME YÜZDESİ (%)	YARMADA ÇEKME DAYANIMI			
		NORMAL SU		TUZLU SU	
		KIRILMA YÜKÜ (KN/ MM)	ÇEKME DAYANIMI (MPa)	KIRILMA YÜKÜ (KN/ MM)	ÇEKME DAYANIMI (MPa)
1	0	0.61	4.50	0.62	4.80
2	20	0.55	4.40	0.58	4.60
3	40	0.50	4.00	0.53	4.20
4	60	0.40	3.60	0.42	3.80
5	80	0.25	2.80	0.27	2.90
6	100	0.22	2.50	0.24	2.70

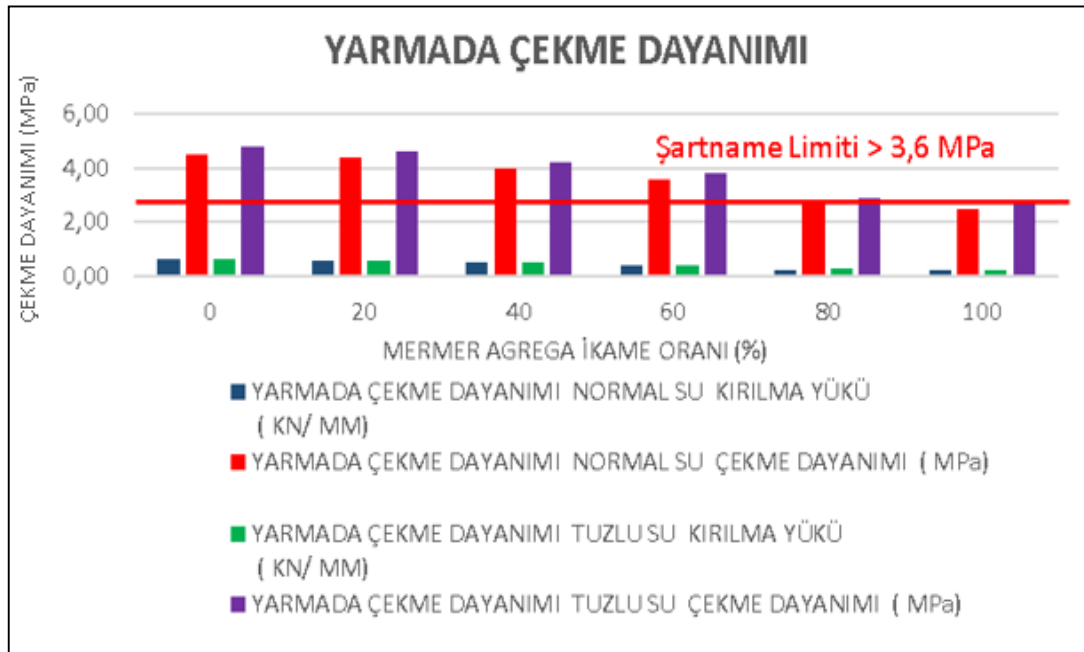
Yarmada çekme dayanım deneyi için Karayolları Şartnamesi incelendiğinde yarmada çekme dayanımının 3.6 Mpa'dan düşük olmaması istenmektedir. Hazırlanan numunelerle yapılan deneylerde;

- Şahitli numuneler de 4.5 MPa
- %80 doğal, %20 mermer agrega karışımlı numunede 4.4 MPa gözlemlenmiştir.
- %60 doğal, %40 mermer agrega karışımlı numunede 4.0 MPa gözlemlenmiştir.
- %40 doğal, %60 mermer agrega karışımlı numunede 3.6 MPa gözlemlenmiştir.
- %20 doğal, %80 mermer agrega karışımlı numunede 2.8 MPa gözlemlenmiştir.
- %100 mermer agrega karışımlı numune de 2.5 MPa gözlemlenmiştir.

Tuzlu suda bekletilmiş numunelerde

- Şahitli numune de 4.8 MPa
- %80 doğal, %20 mermer agregası karışımında 4.6 MPa gözlemlenmiştir.
- %60 doğal, %40 mermer agregası karışımında 4.2 MPa gözlemlenmiştir.
- %40 doğal, %60 mermer agregası karışımında 3.8 MPa gözlemlenmiştir.
- %20 doğal, %80 mermer agregası karışımında 2.9 MPa gözlemlenmiştir.
- %100 mermer agregası karışımında 2.7 MPa gözlemlenmiştir.

Deney verileri ışığında; normal ve tuzlu suda bekletilen numunelerin yarmada çekme dayanım testlerinde hazırlanan numunelerde %20, %40 ve %60 oranında ikame edilen mermer agregasının yeterli dayanım gösterdiği ve asgari standart olan 3.6 MPa'nın üzerinde değerler verdiği görülmüştür. Buna karşın %80 ve %100 oranında ikame edilen mermer agregası ile hazırlanan numunelerin ise yeterli dayanımı sağlamadığı ve standardın altında (2.9 ve 2.7 MPa) kaldığı tespit edilmiştir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1.Yarmada çekme dayanımı deney sonuç grafiği

4.2. Su-Tuzlu Su Emme Bulguları

Numunelere uygulanan normal su ve tuzlu su emme deneyi sonuçları Çizelge 4.2’de yer almaktadır.

Çizelge 4.2. Su emme deneyi sonuçları

NO	İKAME YÜZDESİ (%)	SU EMME YÜZDESİ	
		NORMAL SU (%)	TUZLU SU (%)
1	0	4.37	4.12
2	20	4.62	4.45
3	40	4.78	4.57
4	60	5.02	4.89
5	80	5.15	5.02
6	100	5.31	5.25

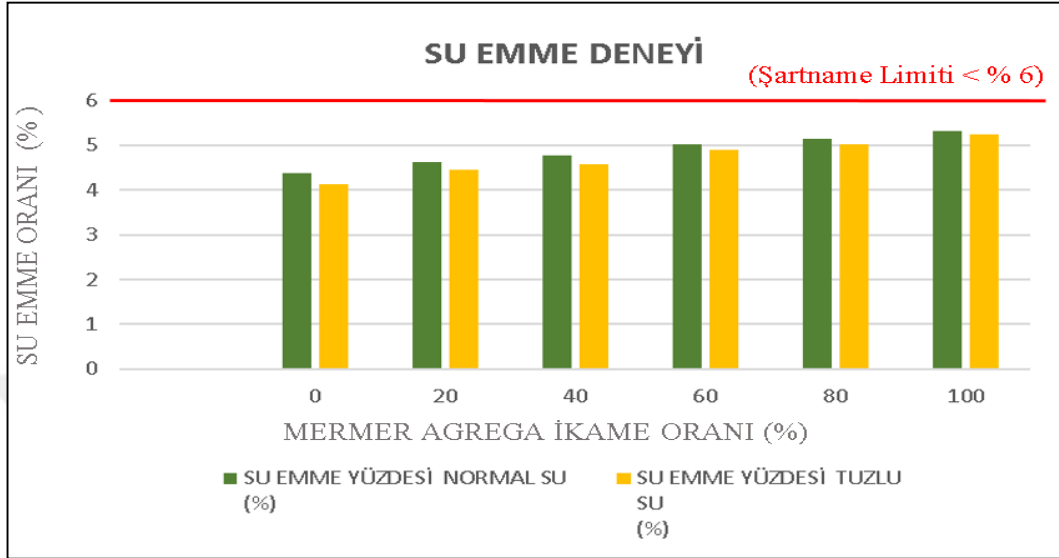
Su ve Tuzlu su emme deneyi için Karayolları Şartnamesi incelendiğinde %6’dan düşük olması istenmektedir. Hazırlanan numunelerle yapılan deneylerde;

- Şahitli numunede % 4.37
- %80 doğal, %20 mermer agregası karışımı numunede % 4.62
- %60 doğal, %40 mermer agregası karışımı numunede % 4.78
- %40 doğal, %60 mermer agregası karışımı numunede % 5.02
- %20 doğal, %80 mermer agregası karışımı numunede % 5.15
- %100 mermer agregası karışımı numunede % 5.31

Tuzlu suda bekletilmiş numunelerde

- Şahitli numunede % 4.12
- %80 doğal, %20 mermer agregası karışımı numunede % 4.45
- %60 doğal, %40 mermer agregası karışımı numunede % 4.57
- %40 doğal, %60 mermer agregası karışımı numunede % 4.89
- %20 doğal, %80 mermer agregası karışımı numunede % 5.02
- %100 mermer agregası karışımı numunede % 5.25

Deney verileri ışığında; normal ve tuzlu suda bekletilen numunelerin su emme oranı %6 üst sınırının altında kalmış olup, istenilen standardı sağladığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Su emme deney sonuç grafiği

4.3. Aşınma Direnci Bulguları

Aşınma direnci deneyinden elde edilen ölçümler Çizelge 4.3’de yer almaktadır.

Çizelge 4.3. Aşınma direnci deneyi sonuçları

NO	İKAME YÜZDESİ (%)	AŞINMA DİRENCİ	
		NORMAL SU (MM)	TUZLU SU (MM)
1	0	21.0	19.5
2	20	21.2	20.1
3	40	21.2	20.1
4	60	21.4	20.9
5	80	22.2	21.1
6	100	22.4	21.5

Aşınma direnci deneyi için Karayolları Şartnamesi incelendiğinde, aşınma direncinin 23 mm’den düşük olması istenmektedir.

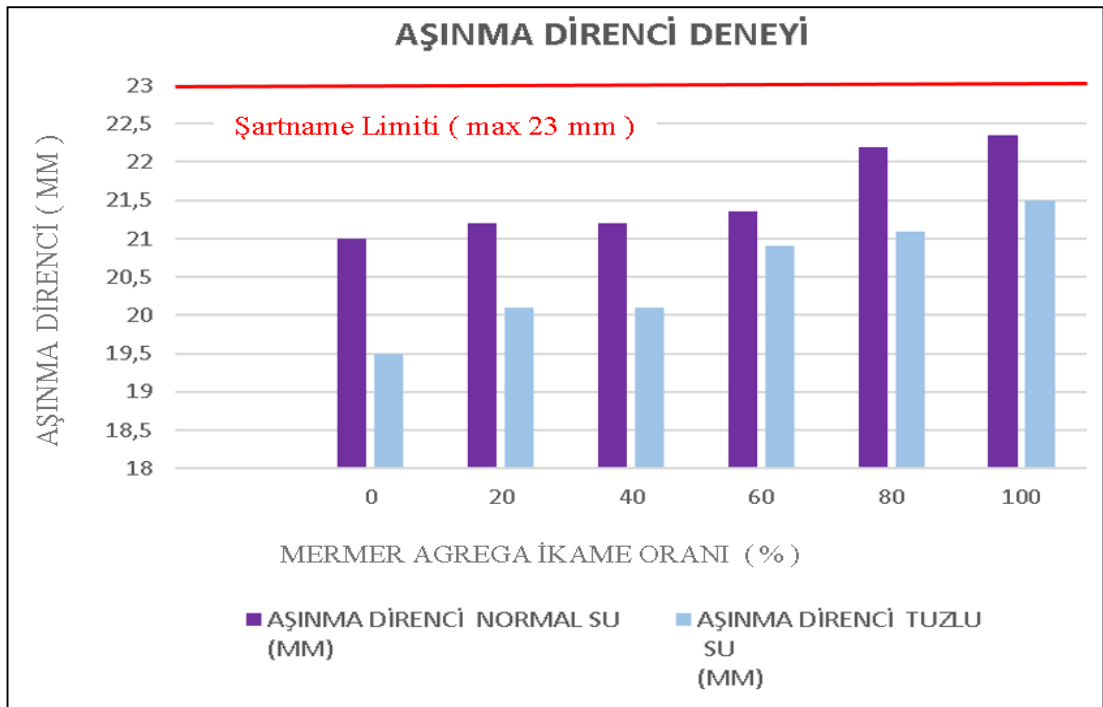
Hazırlanan numunelerle yapılan deneylerde;

1. Şahitli numunede 21mm
2. %80 doğal, %20 mermer agregası karışımı numunede 21.2 mm
3. %60 doğal, %40 mermer agregası karışımı numunede 21.2 mm
4. %40 doğal, %60 mermer agregası karışımı numunede 21.35 mm
5. %20 doğal, %80 mermer agregası karışımı numunede 22.2 mm
6. %100 mermer agregası karışımı numunede 22.35 mm

Tuzlu suda bekletilmiş numunelerde

1. Şahitli numune de 19.5 mm
2. %80 doğal, %20 mermer agregası karışımı numunede 20.1 mm
3. %60 doğal, %40 mermer agregası karışımı numunede 20.1 mm
4. %40 doğal, %60 mermer agregası karışımı numunede 20.9 mm
5. %20 doğal, %80 mermer agregası karışımı numunede 21.1 mm
6. %100 mermer agregası karışımı numunede 21.5 mm

Deney verileri ışığında; normal ve tuzlu suda bekletilen numunelerin aşınma testleri 23 mm üst sınırını aşmadığı gözlemlenmiştir. Tüm numuneler gerekli standartları sağlamıştır (Şekil 4.3) .



Şekil 4.3. Aşınma direnci deney sonuç grafiği

4.4. Basınç Dayanımı Bulguları

Numunelerden elde edilen basınç dayanımı deneyi sonuçları aşağıdaki Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Basınç dayanımı deneyi sonuçları

NO	İKAME YÜZDESİ (%)	BASINÇ DAYANIMI			
		NORMAL SU		TUZLU SU	
		UYGULANAN YÜK (N)	BASINÇ DAYANIMI (MPa)	UYGULANAN YÜK (N)	BASINÇ DAYANIMI (MPa)
1	0	391 876	39.2	391 475	39.1
2	20	396 054	39.6	395 278	39.5
3	40	402 756	40.3	402 362	40.2
4	60	407 012	40.7	406 203	40.6
5	80	410 846	41.1	409 978	41.0
6	100	415 102	41.5	414 371	41.4

Basınç dayanımı testleri standartlarını veren TS EN 12390-3 incelendiğinde C 25 sınıfındaki betonun silindir numunelerde 25 MPa, küp numunelerde 30 MPa alt sınırını sağlaması gerektiği görülmektedir. Bir kenarı 10 cm olan küp numuneler üzerinde yapılan deney sonucunda aşağıdaki bulguların elde edildiği tespit edilmiştir.

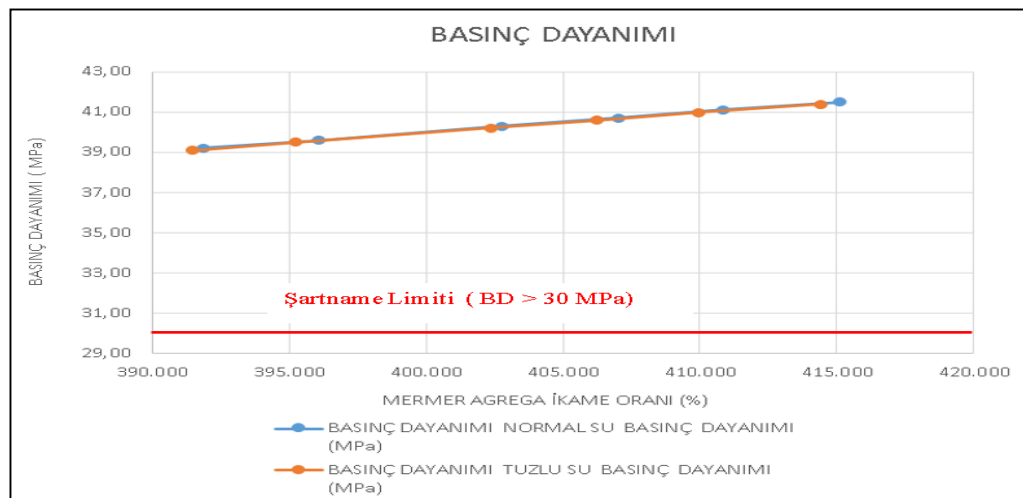
Normal suda bekletilmiş numunelerde

1. Şahitli numunede 391 876 N basınca kadar dayandığı ve sonuçta 39.2 MPa değerine ulaşıldığı,
2. %80 doğal, %20 mermer agregası karışımli numunede 396 054 N basınca kadar dayandığı ve sonuçta 39.6 MPa değerine ulaşıldığı,
3. %60 doğal, %40 mermer agregası karışımli numunede 402 756 N basınca kadar dayandığı ve sonuçta 40.3 MPa değerine ulaşıldığı,
4. %40 doğal, %60 mermer agregası karışımli numunede 407 012 N basınca kadar dayandığı ve sonuçta 40.7 MPa değerine ulaşıldığı,
5. %20 doğal, %80 mermer agregası karışımli numunede 410 846 N basınca kadar dayandığı ve sonuçta 41.1 MPa değerine ulaşıldığı,
6. %100 mermer agregası karışımli numunede 415 102 N basınca kadar dayandığı ve sonuçta 41.5 MPa değerine ulaşıldığı,

Tuzlu suda bekletilmiş numunelerde

1. Şahitli numune de 391 475 N basınca kadar dayandığı ve sonuçta 39.1 MPa değerine ulaşıldığı,
2. %80 doğal, %20 mermer agregası karışımli numunede 395 278 N basınca kadar dayandığı ve sonuçta 39.5 MPa değerine ulaşıldığı,
3. %60 doğal, %40 mermer agregası karışımli numunede 402 362 N basınca kadar dayandığı ve sonuçta 40.2 MPa değerine ulaşıldığı,
4. %40 doğal, %60 mermer agregası karışımli numunede 406 203 N basınca kadar dayandığı ve sonuçta 40.6 MPa değerine ulaşıldığı,
5. %20 doğal, %80 mermer agregası karışımli numunede 409 978 N basınca kadar dayandığı ve sonuçta 41 MPa değerine ulaşıldığı,
6. %100 mermer agregası karışımli numunede 414 371 N basınca kadar dayandığı ve sonuçta 41.4 MPa değerine ulaşıldığı

Deney verileri ışığında; normal ve tuzlu suda bekletilen numunelerin basınç dayanım alt sınır standardı olan 30 MPa'yı geçtiği ve gerekli standartları sağladığı gözlemlenmiştir. Numuneler basınç dayanım standartlarının oldukça üstünde (39.5-41.5 MPa) dayanım sergilemiştir. Normal ve tuzlu suda bekleyen numunelerin basınç dayanımlarında çok küçük farklar gözlemlenmiştir. Sonuçlardan da görüleceği üzere numunelerdeki mermer agregası oranı arttıkça az da olsa basınç dayanımının arttığı tespit edilmiştir (Şekil 4.4)



Şekil 4.4. Basınç dayanımı deney sonuç grafiği

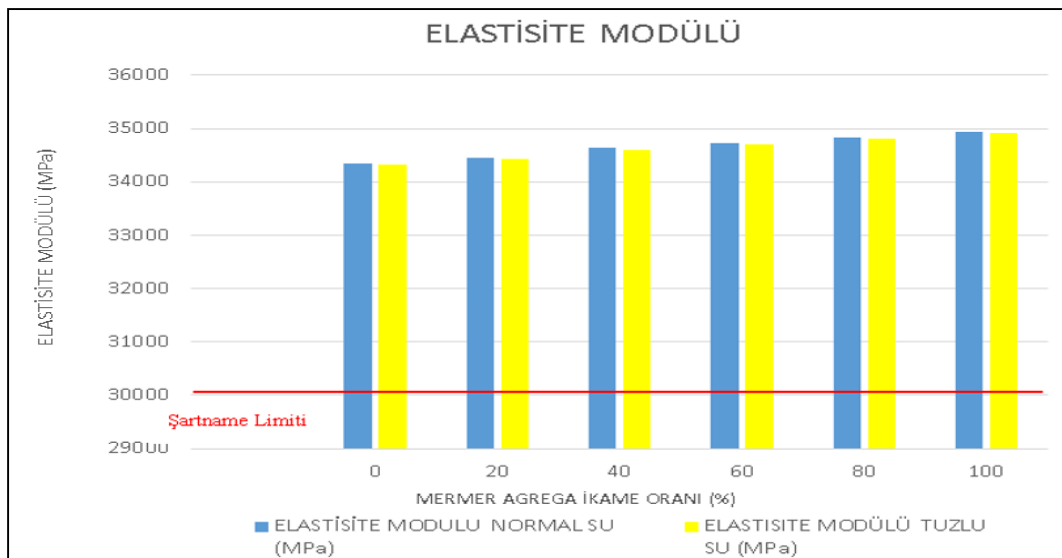
4.5. Elastisite Modülü Tayini Sonuçları

Çalışmada Elastisite Modülünü tayin yöntemi olarak TS-500/2000 de geçen sekant yönteminden faydalanılmıştır. Bu hesaplama yönteminde numunelerin basınç dayanımı sonuçları ilgili denklemde geçen f_{cj} değeri olarak kullanılmıştır. Bu denklemde kullanılan veriler ve elde edilen sonuçlar Çizelge 4.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.5. Basınç dayanımı ve elastisite modülü

NO	İKAME YÜZDESİ (%)	BASINÇ DAYANIMI VE ELASTİSİTESİ MODÜLÜ				TS 500 E GÖRE ELASTİSİTE SINIRI
		Normal Su		Tuzlu Su		
		Basınç Dayanımı (MPa)	Elastisite (MPa)	Basınç Dayanımı (MPa)	Elastisite (MPa)	
1	0	39.2	34 348	39.1	34 322	30 000
2	20	39.6	34 452	39.5	34 426	30 000
3	40	40.3	34 632	40.2	34 606	30 000
4	60	40.7	34 734	40.6	34 708	30 000
5	80	41.1	34 836	41.0	34 810	30 000
6	100	41.5	34 937	41.4	34 911	30 000

Yapılan hesaplamalar sonucunda basınç dayanımının elastisite modülü değerleriyle paralellik arz ettiği ve basınç dayanımı arttıkça elastisite modülünün arttığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Elastisite modülü grafiği

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Farklı oranlarda atık mermerlerin agrega olarak kullanıldığı, tuzlu su ve normal suda priz alacak şekilde hazırlanan numunelerle yapılan deneylerin sonuçları, TSE standartları ve Karayolları Teknik Şartnamesi (2013)' ne göre değerlendirilmiştir. Yapılan deneyler incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

1-Normal agrega ve atık mermer kullanılarak hazırlanan, tuzlu su ve normal suda bekleyen numunelerde görünüş bakımından bir farklılık gözlemlenmemiştir.

2- Normal ve tuzlu suda bekleyen her iki numune tipi için, agrega oranı %20, %40 ve %60 oranında atık mermer kullanılarak elde edilen numunelerin, Karayolları standardını (yarmada çekme dayanımı $> 3.6 \text{ MPa}$) sağladığı görülmüştür. Ancak agrega olarak %80 ve %100 oranında atık mermer kullanılan numunelerin standartta belirtilen dayanım sınırının altında kaldığı, istenilen mukavemeti sağlamadığı görülmüştür.

3-Deneye tabi tutulan normal ve tuzlu suda bekleyen tüm numunelerin, %6 olan maksimum su emme oranının altında kaldığı gözlemlenmiş olup standardı sağlamıştır.

4-Aşınma direnci deneyi yapıldığında, tuzlu suda ve normal suda bekletilerek hazırlanan tüm numunelerin, şahit numune ile benzer aşınma direncine sahip olduğu görülmüştür. Maksimum 23 mm olan aşınma direncini tarifleyen Karayolları standartlarını sağlayarak aşınma limitinin altında kalmıştır.

5-Basınç dayanımı deney verileri incelendiğinde normal ve tuzlu suda bekletilen numunelerin alt sınır olan 30 MPa'yı geçtiği ve gerekli standartların çok üzerinde dayanım sağladığı gözlemlenmiştir. Normal ve tuzlu suda bekleyen numunelerin basınç dayanımlarında küçük farklar gözlemlenmiş olup, numunelerdeki mermer agrega oranı arttıkça az da olsa basınç dayanımının arttığı tespit edilmiştir.

6- Elastisite modülünün normal ve tuzlu suda bekleyen numunelerin basınç dayanımı değerleriyle paralellik arz ettiği ve basınç dayanımı arttıkça elastisite modülünün arttığı gözlemlenmiştir.

Yapılan deney sonuçları incelendiğinde atık mermerlerin doğal agrega yerine ikame olarak %60 oranına kadar beton parke taşlarında kullanılmasının mümkün ve standartlara uygun olduğu görülmüştür.

Bahse konu mermer atıklarının doğal agregası ikamesi olarak kullanılması amacıyla yapılan bu deneyler ile farklı boyutlarda ve oranlarda agregası kullanılarak, daha değişik Su/Çimento oranlarında hazırlanan numunelerle yapılacak deneylerde daha faydalı ve farklı sonuçlarla karşılaşılabilirdiği düşünülmektedir. Dolayısıyla bu ve benzeri çalışmaların atıkların dönüştürülmesi ve çevreye verdikleri zararın azaltılması konusunda katkıda bulunacağı umulmaktadır.

Tuzlu suda ve normal suda bekletilerek yapılan numunelere uygulanan deneylerden elde edilen sonuçların birbirine yakın değerlerde olduğu tespit edilmiştir. Yapılan deney sonuçlarına göre beton parke taşının denizlerden ve yağmurdan gelen tuz, asit ve çeşitli kimyasallardan olumsuz etkilenmeyeceği ön görülmektedir. Bu veriler ışığında Türkiye'nin sahil şeridinde yakın yerleşim bölgelerinde de beton parke taşı kullanımının bir sorun teşkil etmeyeceği düşünülmektedir.

Sonuç olarak atık malzemeler için problem olan depolama alanı temini, nakliye edilmesi ve çevre kirliliği gibi süre gelen sorunların bu tarz yöntemler kullanılarak minimize edileceği ve atık yönetimi ve sürdürülebilirliği açısından faydalı olacağı düşünülmektedir. Yapılacak benzer çalışmalarla, mermer gibi atık sorunu büyük olan malzemelerin fiziksel olarak geri dönüşümünün sağlanabileceği öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

- Anonim (2013). Karayolları Teknik Şartnamesi. Karayolları Genel Müdürlüğü. https://www.tam Yol.com.tr/UserFiles/Content/KGM_Teknik_Sartnamesi_2013.pdf. (Son erişim tarihi: 03 Haziran 2023)
- Anonim (2015). Atık Yönetimi Mevzuatı. ÇŞİDB. [http://pagcev.org/upload/files/Funda%20 Ercan%20Atik%20Yonetimi%20Mevzuati. pdf](http://pagcev.org/upload/files/Funda%20Ercan%20Atik%20Yonetimi%20Mevzuati.pdf). (Son erişim tarihi: 18 Haziran 2023)
- Anonim (2021). Yenikarpuzlu Belediyesi Prefabrik Kilitli Beton Parke Taş ve Belediye Bordürü Alımı Ekap İhale Arama. [https :// ekap. kik. gov .tr/EKAP/Ortak/IhaleArama/index.html](https://ekap.kik.gov.tr/EKAP/Ortak/IhaleArama/index.html). (Son erişim tarihi: 18 Mayıs 2023)
- Anonim (2022). Kilitli Parke Taşı Nasıl Üretilir. Globmac Global Block Machines. <https://www.globmac.com/kilit-parke-tasi-nasil-uretilir>. (Son erişim tarihi: 11 Temmuz 2023)
- Anonim (2023). Beton Parke Taşı Makineleri Üreticisi. Mustafa Yontar A.Ş. <https://mustafayontar.com>. (Son erişim tarihi: 23 Haziran 2023)
- Açıkgöz, Y. (2008). *Uçucu Küllerin Beton Kilitli Parke Taşı Üretiminde Kullanımının Araştırılması*. (Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Akbulut, H., & Gürer, C. (2003). Mermer Atıklarının Çevresel Etkileri ve Yol Katmanlarında Kullanarak Faydalanma ve Atık Azaltma İmkânları. *Türkiye IV. Mermer Sempozyumu*. 18-19 Aralık, Afyon, 371-378
- Akdoğan, A., & Güleç, S.,(2007). Sürdürülebilir Katı Atık Yönetimi ve Belediyelerde Yöneticilerin Katı Atık Yönetimiyle İlgili Tutum ve Düşüncelerinin Analizine Yönelik Bir Araştırma. *H.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 25(1), 39-69.
- Akyıldız, N.A.(2018), *Doğu ve Batı Mekânsal Tasarım Sürecinin Aktif Yaşlanma Açısından Ele Alınışı*. Grafiker Yayınları.
- Altındağ, R., (2018). Doğal Taş Ocaklarında Artık Oluşumunun Önlenmesi ve Artıkların Değerlendirilmesi. *Mermer Madenciliğinde Çevresel Yaklaşımlar*. Ocak 20, Muğla, 35-50.
- Arsoy, Z., Çiftçi, H., Ersoy, B., Uygunoğlu, T., & Arslan, B.(2019). Afyonkarahisar Bölgesi Mermer Parça Atıklarının Beton Agregası Olarak Değerlendirilebilirliğinin Araştırılması. *ECJSE*, 6(3), 503-516.
- Aydın, H.A. (2022). *Doğal Agregası ve Kırmataş Agregasının Beton Basınç ve Yarmada Çekme Dayanımı Sonuçlarına Etkisi*. (Yüksek Lisans Tezi, Toros Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü)

- Babalık, Ö. (2022). *Geri Dönüştürülmüş Agregaların Kullanımının Çevresel Etkilerinin Yaşam Döngüsü Değerlendirme (YDD) Yöntemi ile Değerlendirmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü)
- Bilgin, Ö., & Koç, E. (2013). Mermer Madenciliğinde Çevresel Etkiler. *Madencilik Türkiye Dergisi*, 7, 68-74.
- Ceylan, H., & Mança, S., (2013). Mermer Parça Atıklarının Beton Agregası Olarak değerlendirilmesi. *SDU Teknik Bilimler Dergisi*, 3(2), 21-25.
- Çelik, M.Y., Ersoy, M.A., & Şahbaz, A. (2016). Değişik Doğaltaş Kırmataşların Kilitli Beton Parke Bloklarının Mekanik Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi. *8.Uluslararası Kırmataş Sempozyumu*. 13-14 Ekim, Kütahya, 38-45.
- Çiner, F., Doğan Sağlamtimur, N., & Delibalta, M.S., (2018). Endüstriyel Katı Atık Olarak Mermer Atıklarının Çevresel Etkileri Ve Değerlendirilme Alternatifleri. *Mermer Madenciliğinde Çevresel Yaklaşımlar*. Ocak 20, Muğla, 93-128.
- Çolakoğlu, H. (2022). *Çeşitli Geri Dönüşümlü Agregaların Kayma Dayanımları*. (Yüksek Lisans Tezi, Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Coşkun, İ. (2022). *Çimento ve Mineral Katkı Maddelerinin İkili, Üçlü ve Dörtlü Kombinasyonlarını İçeren Beton Numunelerinin Bazı Mekanik ve Durabilite Özelliklerinin İncelenmesi*. (Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Dandin, Z. (2009). *Betonarme Kolon Performansına Çelik Lif Etkisinin İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Demir, B.G., & Güngör, N., (2013). Mermer Madenciliği ve Çevre. *İstanbul Aydın Üniversitesi Dergisi*, 20, 7-14.
- Durmuş, G., & Şimşek, O., (2008). Uçucu Küllerin Beton Kilitli Parke Taşı Üretiminde Kullanımının Araştırılması. *TÜBAV Bilim Dergisi*, 1(1), 1-6.
- Erdemonar, M. (2022). *Mermer Atıklarının Yapı Malzemesi Olarak Kullanımı*. (Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Ersoy, B., Sayın, Z.E., Arsoy, Z., & Sayın, Ü., (2015). Yeterince Farkında Olmadığımız Atıl Kaynağımız: Doğaltaş Ocak ve Fabrika Atıkları. *Dergi Park*, 5(27), 1-10.
- Eser, F. (2022). *Hafif Agregalar İçeren Harçlarda Farklı Agregalar, Çimento ve Elyaf Tipinin Isı İletkenlik ve Yangın Dayanım Performansına Etkisi*. (Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)

- Filiz, M., Özel, C., Soykan, O., & Ekiz, Y., (2010). Atık Mermer Tozunun Parke Taşlarında Kullanılması. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6(2), 57-72. www.teknolojikarastirmalar.com
- İmiş, T. (2022). *Geri Kazanılmış Agregalı Betonlarda Beton Dayanımının Regresyon Analizi Yöntemi İle İstatistiksel Olarak İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Kaçar, A. (2018). Atık Kağıt Katkılı Çimento Harçlarının Bazı Mekanik Özellikleri. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6(1), 1-6.
- Karakaya Harmancı, F. N. (2022). *Döküm ve Maden Endüstrisi Atıklarının Beton İçerisinde Agregaya Yerine Kullanımının Araştırılması*. (Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü)
- Keskin, S.B., & Şahmaran, M. (2018). Mermer Atıklarının Yapı Malzemeleri Alanında Yüksek Hacimlerde Kullanılabilirliği. *Mermer Madenciliğinde Çevresel Yaklaşımlar*. Ocak 20, Muğla, 219-234.
- Kocabağ, D., (2018). Sürdürülebilir Madencilik Bağlamında Mermer Sanayi Ve Mermer Atıklarının Değerlendirilmesi. *Mermer Madenciliğinde Çevresel Yaklaşımlar*. Ocak 20, Muğla, 51-92.
- Korkut, M. K. (2022). *İri Agregaya Olarak İnşaat Yıkıntı Atığı, İnce Agregaya Olarak Doğal ve Kırmı Kum Kullanılan Betonun Bazı Mühendislik Özelliklerinin İncelenmesi ve Basınç Dayanımlarının Yapay Sinir Ağı İle Tahmin Edilmesi* (Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Kulaksız, S. (2012). *Madencilikte Çevre Yönetimi- Doğal Taş (Mermer) Madencilik İşletme Yöntemleri*. Maden Mühendisleri Odası Yayını.
- Moghimi, S. (2022). *Alkali-Silis Reaksiyonu Hasarı Gören Atık Beton Geri Dönüşüm Agregasının Değerlendirilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Oğul, K. (2005). *Mermer İnce Artıklarının Koagülasyonu ve Flokülasyonu*. (Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Okubay, M. (2016). *Bitümlü Sıcak Karışımlarda Agregaya Olarak Mermer Atığı Kullanımının Araştırılması*. (Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Rahimi, R.G. (2021). *Atık Lastik İle Üretilmiş Çevre Dostu Betonlarda Agregaya Granülometrisinin Dayanım Özellikleri Üzerine Etkisi*. (Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Sapmaz Veral, E., & Yiğitbaşıoğlu, H. (2018). Avrupa Birliği Atık Politikasında Atık Yönetiminden Kaynak Yönetimi Yaklaşımına Geçiş Yönelimleri ve Döngüsel Ekonomi Modeli. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 6(1), 1-19.

- Şentürk, A., Gündüz, L., Tosun, Y.İ., & Sarıışık, A. (1996). *Mermer Teknolojisi*. Isparta, Tuğra Ofset.
- TCTB, (2021). *Doğal Taşlar Sektör Raporu*, Ticaret Bakanlığı Yayını, Ankara. <https://ticaret.gov.tr/data/5b87000813b8761450e18d7b/Do%C4%9Fal%20Ta%C5%9Flar%20Sekt%C3%B6r%20Raporu%202021.pdf>
- Tekmen, T. (2006). *Kireçtaşlarından Üretilen Kilitli Beton Parke Bloklarının Mekanik Özelliklerinin Değerlendirilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Topçu, İ.B., & Uygunoğlu, T. (2010). Atık Mermerlerin Agrega Olarak Betonda Kullanılmasıyla Çevre Kirliliğinin Azaltılması. *International Sustainable Buildings Symposium*. 26-28 May, Ankara, 36-40.
- TS 436 EN 1340 (2005). Zemin Döşemesi için Beton Bordür Taşları- Gerekli Gerekli Şartlar ve Deney Metotları. TSE, Ankara.
- TS 453 (2006). Önyapımlı (Prefabrike), Donatılı Gazbeton Yapı Elemanları. TSE, Ankara.
- TS 500 (2000). *Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü*. TSE, Ankara.
- TS 706 EN 12620 (2003). Beton Agregaları. TSE, Ankara.
- TS 707 (1980). Beton Agregalarından Numune Alma Ve Deney Numunesi Hazırlama Yöntemi. TSE, Ankara.
- TS 802 (2005). Beton Karışımı Hesap Esasları. TSE, Ankara.
- TS EN 1008 (2003). Agregaların Mekanik Ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini Beton-Karma Suyu-Numune Alma, Deneyler ve Beton Endüstrisindeki İşlemlerden Geri Kazanılan Su Dahil, Suyun, Beton Karma Suyu Olarak Uygunluğunun Tayini Kuralları. TSE, Ankara.
- TS EN 1097-6 (2002). Agregaların Mekanik Ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini. TSE, Ankara.
- TS EN 12390-3 (2003). Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini. TSE, Ankara.
- TS 2824 EN 1338 (2005). Zemin Döşemesi için Beton Kaplama Blokları-Gerekli Şartlar ve Deney Metotları. TSE, Ankara.
- TS 3530 EN 933-1 (1999). Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 1: Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini- Eleme Metodu. TSE, Ankara.

- Vargün, E., & Evren, Ö. (2018). Mermer Tozu/Polimer Kompozitlerinin Araştırılması ve Yapay Mermer Blok/Levha Üretimi. *Mermer Madenciliğinde Çevresel Yaklaşımlar*. Ocak 2020, Muğla, 253-271.
- Yıldız, İ. (2013). *Elazığ Ferrokrom Cürufunun Beton Parke Taşı ve Tuğla Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması*. (Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)



EKLER

EK A. Çizelgeler

EK B. Şekiller



EK A. Çizelgeler

Çizelge A.1. Karayolu Teknik Şartnamesi (2013) Prefabrik beton parke numunelerine yapılacak deneyler ve uygunluk kriterleri

Deney	Uygunluk kriteri
Fiziksel Görünüş	Parke taşlarının yüzeyinde çatlak, kırık, çukur, döküntü, pullanma veya soyulma bulunmamalı ve yüzleri düzgün ve köşeleri muntazam olmalı, simetri ve biçim bozuklukları bulunmamalıdır.
Malzeme Özellikleri	Üretimlerde kullanılacak agrega, çimento, su, kimyasal katkıları ve boya katkıları Kısım 316.01.02'de belirtilen kriterlere uygun olacaktır.
Boyutlar Yönünden Uygunluk	Kısım 316.01.03'e uygun olmalıdır.
Su Emme Oranı	1.Sınıf parkelerde performans ölçümü gerekmez. 2.Sınıf parkelerde kütlece ortalama olarak %6'dan fazla olmayacaktır.
Aşınma Dayanımı	1.Sınıf parkelerde performans ölçümü gerekmez. 2. ve 3.Sınıf parkelerde Geniş Diskli Aşınma deney metodu kullanılarak ölçülen değer 23 mm' den fazla olmayacaktır, alternatif olarak Böhme deney metodu kullanılarak ölçülen deney sonuçlarından hiçbirisi 20.000 mm ³ /5.000 mm ² 'den fazla olmayacaktır.
Mukavemet	Mukavemet tayini; TS 2824 EN 1338 standardına göre Yarmada-çekme deneyi yapılarak belirlenecek olup, Kısım 316.01.06.01'de belirtilen kriterlere uygun olacaktır.
Donma ve Çözülme Dayanımı	1.Sınıf parkelerde performans ölçümü gerekmez. 3.Sınıf parkelerde donma çözülme deneyinden sonra metrekaresindeki kilogram kütle kaybı ortalama olarak %1,0'dan büyük olmamalıdır. Tek numune sonuçlarından hiçbirisi %1,5'ten büyük olmamalıdır.

EK B. Şekiller

YENİKARPUZLU BELEDİYESİ PREFABRİK KİLİTLİ BETON PARKE TAŞ VE BELEDİYE BORDÜRÜ ALIM İHALESİNE AİT TEKNİK ŞARTNAME

1- 8 CM'LİK PREFABRİK KİLİTLİ BETON PARKE TAŞ VE BETON BELEDİYE BORDÜRÜ

1- 1 Adet Prefabrik Kilitli Beton Parke Taşının boyutu ve Beton Belediye bordürünün boyutu ağırlığı ve özellikleri aşağıya çıkartılmıştır.

BOYUTLAR (cm)				Adet / m ²
Cinsi	Genişlik	Uzunluk	Yükseklik	
Prefabrik Kilitli Beton Parke Taşı	16.30	19.80	8.00	36
Beton Belediye Bordürü Her Renk	12.00/15.00	70.00	30.00	

2- Beton imalatlar TSE standartlarına uygun olacaktır. Belediye gerekli gördüğü takdirde TSE standartlarına uygunluğu kontrol amaçlı Muayene ve Deney için numune alarak gerekli deneyleri Kamuya ait laboratuvarlarda yaptıracak ve rapor sonuçlarını alabilecektir. Bu deney ve raporların bedelleri yüklenici tarafından ödenecektir. Bordür taşlarına ait TSE standardı TS 436 EN 1340 diğer beton imatlara ait TSE standardı TS 2824 EN 1338'dir.

3-Beton imalatlar için T.S ISO 9001 :2008 ve T.S ISO 14001:2004 belgeleri aranacak ve T.S.E belgeli olacaktır.

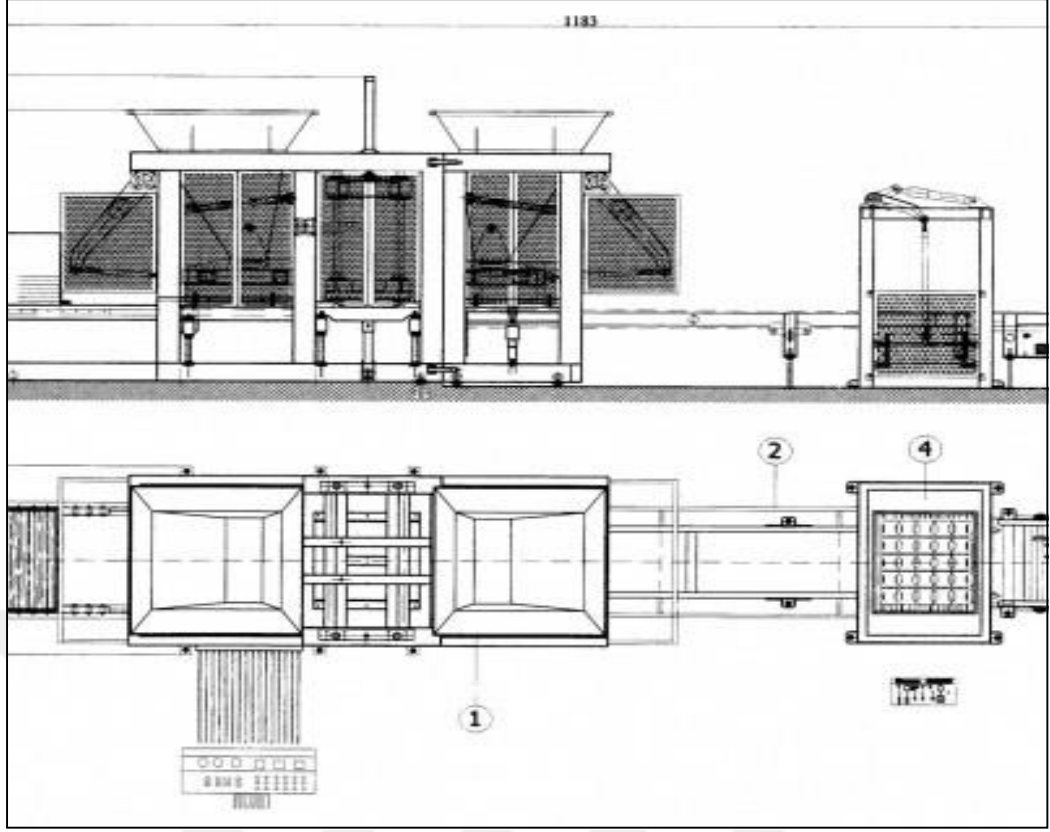
4- Prefabrik Kilitli Beton Parke Taşlarının ve Beton Belediye Bordürlerinin yüzeylerinde çatlak, pullama veya soyulma gibi bozukluklar görülmemelidir. Donma ve çözücü tuzlara karşı dirençli olmalıdır. Su emme oranı maksimum %5 oranında olacaktır. Prefabrik Kilitli Beton Parke Taşlarının ve Beton Belediye Bordürleri 400 dozlu betondan imal edilecek ve bünyesinde mıcır bulundurulacaktır.

5- Malzeme sevkiyatı irsaliye ve kantar fişleri ile olup, sevkiyatlarda; prefabrik kilitli taşlar dökme şeklinde olacaktır. Beton Belediye Bordürleri paletli şekilde olacaktır. Sevkiyat fişlerinin 2. nüshası hak ediş döneminde yükleniciden istenecek, idare yetkilisinin imzası bulunmayan irsaliye ve kantar fişi dikkate alınmayacaktır. Kamyonlarda %3 oranında yarım taş olacaktır. Malzemelerin teslim alınma miktarları ve tarihleri Belediyemizce hazırlanan programa uygun olarak yapılacaktır.

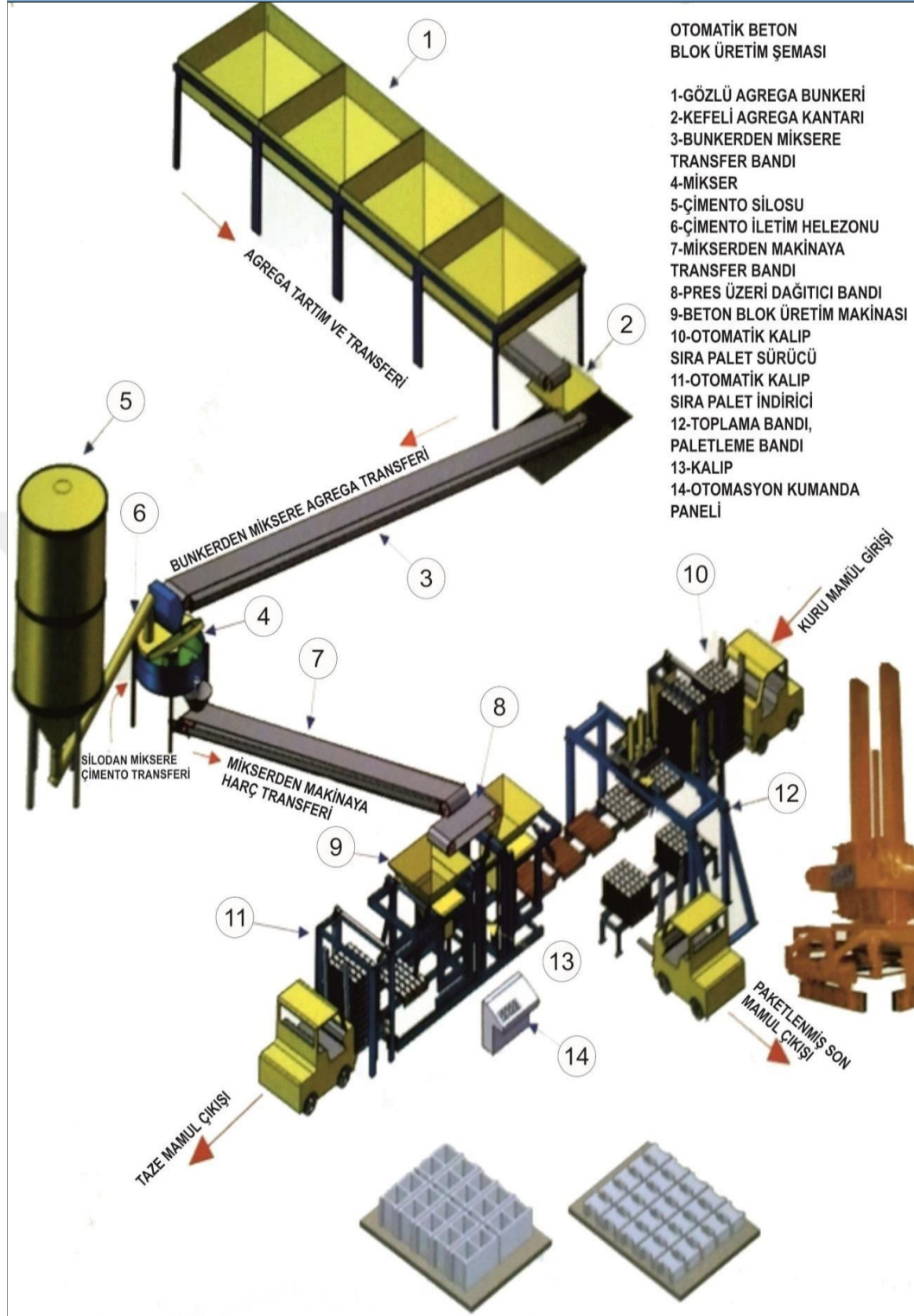
6- Prefabrik Kilitli Beton Parke Taşlarının ve Beton Belediye Bordürlerinin şekli ve ebatları aşağıdaki gibi olacaktır. Aralarında ölçü farkı olmamalıdır. Standartlara ve ebadına uymayan malzemeye ücret ödenmeyecektir.

Bu şartname 6 maddeden oluşup, her türlü malzeme ve kayıpları, yükleme giderleri , işçilik, yüklenici karı ve genel giderler dahil prefabrik kilitli beton parke taşı 1 m2 fiyatı ve beton belediye bordürü mt fiyatıdır.

Şekil B.1. Belediye beton parke taşı alım teknik şartnamesi



Şekil B.2. Beton kilit parke taşı üretim tesisi planı (Anonim, 2023)



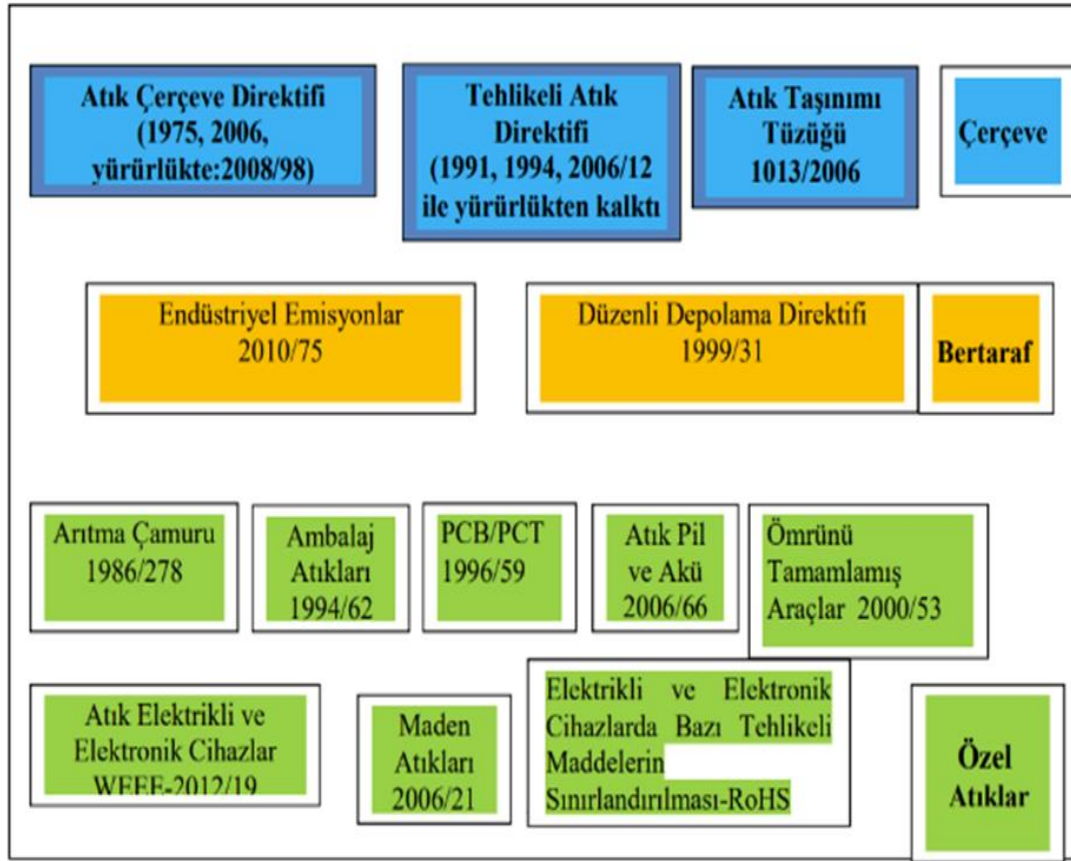
Şekil B.3. Kilitli parke üretimi tesisinin üretim şeması (Yıldız, 2013)



Şekil B.4. Kilit parke üretim fabrikası (Özkul-Ankara)



Şekil B.5. Kilit parke üretim makineleri (Anonim, 2023)



Şekil B.6. AB atık mevzuatı (Sapmaz Veral ve Yiğitbaşıoğlu, 2018)

ÖZGEÇMİŞ

