



## MERMER ATIKLARININ PARKE TAŞI ÜRETİMİNDE AGREGA OLARAK KULLANILMASI

Ayşe BÜYÜKÜNSAL\*, Bilgen AKKUŞ

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Mermer Atık, Beton Parke, Sürdürülebilirlik.</i>	<p>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 hedeflenmiştir. Deneyler sırasında ilgili TSE Standartları ve 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 bekletilerek priz aldırılmıştır. Beton parke taşı numunelerine su emme oranını belirleme, aşınma direnci, yarmada çekme dayanımı deneyleri uygulanmıştır. Küp numunelere ise basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. Su emme oranını belirleme, basınç dayanımı, aşınma direnci deney verilerinin standartların içerisinde kaldığı görülmüştür. Yarmada çekme dayanımı deneyinin sonuçları incelendiğinde ise %20, %40 ve %60 oranında mermer agregası bulunan numunelerin yeterli dayanıma haiz olduğu; ancak %80 ve %100 oranında hazırlanan numunelerin ise dayanımının yetersiz olduğu görülmüştür. Sonuç olarak beton parke taşlarında atık mermerlerin agrega olarak %60 oranına kadar kullanılabilceği tespit edilmiştir.</p>

## USE OF MARBLE WASTE AS AGGREGATE IN PAVEMENT STONE PRODUCTION

Keywords	Abstract
<i>Marble Waste, Concrete Paving, Sustainability.</i>	<p>In this study, it is aimed to re-functionalize waste marbles by using them as aggregate in concrete interlocking paving stones and to ensure the sustainability of these wastes by managing them. A total of 80 samples were prepared in five different mixture ratios. Half of the samples were kept in salt water and half in normal water to allow them to set. Water absorption rate determination, abrasion resistance and splitting tensile strength tests were applied to concrete paving stone samples. Compressive strength tests were performed on cube samples. It has been observed that the test data for determining water absorption rate, compressive strength and abrasion resistance are within the standards. When the results of the splitting tensile strength test are examined, it is seen that the samples containing 20%, 40% and 60% marble aggregate have sufficient strength; However, it was observed that the strength of the samples prepared at 80% and 100% was insufficient. As a result, it has been determined that up to 60% of waste marble can be used as aggregate in concrete paving stones.</p>

### Alıntı / Cite

Büyükünsal, A., Akkuş, B., (2024). Mermer Atıklarının Parke Taşı Üretiminde Agrega Olarak Kullanılması, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 12(1), 241-254.

### Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

A. Büyükünsal, 0000-0002-1689-5967  
B. Akkuş, 0009-0005-8518-6397

### Makale Süreci / Article Process

<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b>	08.01.2024
<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>	27.02.2024
<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	11.03.2024
<b>Yayın Tarihi / Published Date</b>	25.03.2024

\* İlgili yazar / Corresponding author: aysekacar@isparta.edu.tr, +90-246-211-1404

## USE OF MARBLE WASTE AS AGGREGATE IN PAVEMENT STONE PRODUCTION

Ayşe Büyükinsal†, Bilgen Akkuş

Isparta University of Applied Sciences, Faculty of Technology, Department of Civil Engineering, Isparta, Turkey

---

### Highlights

- Sustainable construction and marble wastes.
- Sustainable construction pavement stone production
- Sustainable construction durability

---

### Purpose and Scope

In the research conducted on the mass use of marble waste in concrete paving stones, it was also examined how concrete paving stones would be affected if exposed to salt, acid and different chemicals resulting from the sea, rain and various environmental effects.

### Design/methodology/approach

In the research on the mass use of marble waste in concrete paving stones, a comprehensive literature review was made and similar studies were briefly mentioned. Later, under the leadership of Materials and Methods, whether the waste marbles generated in marble workshops and factories are suitable for mass cleaning in concrete paving stones. Portland cement and tap water were used in the concrete mortar. At the same time, natural aggregate with a diameter of 8 mm and waste marble pieces with a diameter exceeding 5 mm were evaluated collectively in concrete mixtures. A total of 60 concrete paving stones were prepared in five different mixture ratios (20%, 40%, 60%, 80% and 100%), which were subjected to four separate tests, and an additional 20 cube samples with a length of 10 cm along one side were prepared. In this way, a total of 80 samples were used in the experiment. The samples were set by keeping them in semi-saline water and then in normal water for 28 days.

### Findings

As a result, it has been determined that up to 60% of waste marble can be used as aggregate in concrete paving stones. However, it has been observed that concrete paving stone with marble waste addition will not be negatively affected by salting against icing, salt, acid and various chemicals coming from the sea and rain. Thus, it was concluded that concrete paving stones can be used in residential areas close to Turkey's coastline and in cold climate regions.

### Originality

In the study, a total of 60 concrete paving stone samples and 20 cube samples were prepared in sample groups with five different mixture ratios (20%, 40%, 60%, 80% and 100%). All experiments were carried out in two curing environments, normal water and salt water, for 28 days each.

---

† Corresponding author: aysekacar@isparta.edu.tr, +90-246-211-1404

## 1.Giriş (Introduction)

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 sarfiyatıyla, 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 önerilmeli beton yapı sistemleri geliştirilmeye başlanmıştır. Özel parke makinelerinde kalıplar yardımıyla üretilen kilitli beton parke blokları hazır betonla benzer karışımlara sahip bir yapı malzemesidir. (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. Doğal ve yapay olarak elde edilen bir zemin kaplama malzemesi olan parke taşlarının kullanımı, kentleşmenin ilerlemesiyle ağır taşıt trafiğinin olmadığı yollarda ulaşım ve peyzaj amacıyla hızla artmakta ve gün geçtikçe daha fazla talep görmektedir (Filiz vd, 2010).

Parke taşlarının kullanımının tercih sebepleri şunlardır: özel ağır araç ve donanıma duyulan ihtiyaç olmaksızın her türlü iklim koşulunda döşenebilmesi, kolay ve ekonomik bir şekilde onarılabilmesi, su ve don olaylarından etkilenmemesi 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 üretilmesi 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 (Göktaş, 2013). 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 m<sup>3</sup> - 13,9 milyar ton potansiyel mermer rezervine sahip bir ülkedir ( Erdemoğlu ve Göktaş, 2018). Bu miktar, tahmini olarak dünya 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).

Sürdürülebilir çevre hedefleri doğrultusunda, sınırlı kaynakların kullanımının azaltılması, inşaat sektöründe diğer sektörlerde olduğu gibi öne çıkan bir konudur (Çolakoglu, 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, ülkemizde de dünya genelinde olduğu gibi önemli bir politika haline gelmektedir. 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 beton parke taşı içerisinde agrega olarak kullanılmasına yönelik yapılan araştırmada öncelikli olarak literatür taraması yapılmış olup bu ve benzer konularda yapılan çalışmalardan kısaca bahsedilmiştir. Sonrasında. 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 deneylerde kullanılmıştır. 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 etkilere 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. 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 numunelerinin 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 kullanılabilceği tespit edilmiştir. Yapılan deneylerde TSE'nin ilgili standartları ve Karayolu Teknik Şartnamesi (2013) Prefabrik beton parke numunelerine yapılacak deneyler ve uygunluk kriterlerinden faydalanılmıştır.

## 2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

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.

Tekmen (2006), araştırmasında, ülkemizde yaygın olarak kullanılan kireçtaşlarından üretilen kilitli beton parke bloklarını mekanik özellikleri açısından değerlendirmiştir. Maliyeti düşürmek için agrega miktarının artırılabilceği veya çimento miktarının azaltılması için kilitli parke taşı bileşimine uçucu kül, cüruf gibi atık malzemelerin eklenebileceğini belirtmiştir. 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. 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 tabloyu 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. Bu verilere dayanarak, mermer atıklarının iri ve ince agrega olarak beton üretiminde etkili bir şekilde kullanılabilmesi 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. 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. Kilitli parke taşında mermer agregaların kullanılması durumunda elde edilen veriler, tuzlu suda priz aldırılmış olan numunelerin dayanımının standartlarda kaldığı ve dış etkilerden etkilenmediği şeklinde gözlemlenmiştir.

Erdemonar (2022)'in çalışmasına göre, 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)'nun 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. Genel olarak değerlendirildiğinde, mermer agregalarının kırmataş agregaları yerine tercih edilmesi durumunda dayanım kaybı gözlemlenmemiştir. 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) 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 kullanılabilmesi 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 m<sup>3</sup> genleştirilmiş 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. Çalışma, atık mermerlerin sadece beton ve kilitli parke taşlarında değil, aynı zamanda çimento üretiminde de kullanılabilmesini destekler niteliktedir.

### 3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Çalışma da 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 yapılmıştır.

#### 3.1. Materyal (Material)

##### 3.1.1. Mermer agrega (Marble aggregate)

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 oyuta getirilmiştir. Daha sonra elde edilen agregalar elek analizine tabi tutularak deneylerde kullanılacak olan standartlardaki boyutlar sağlanmıştır.

##### 3.1.2. Çimento (Cement)

Deneyler de bağlayıcı olarak kullanılan çimento CEM I 42,5 R tipi Portland çimentosu olup, fabrikada kilitli parke üretimin de kullanılmaktadır. Bu çimentonun özellikleri şu şekildedir: Priz Başlama Süresi  $\geq 60$  dakika, Genleşme  $\leq \%10,2$  Günlük Dayanım  $\geq 20,0$  MPa, 28 Günlük Dayanım  $\geq 42,5$  N/mm<sup>2</sup>  $\leq 62,5$  N/mm<sup>2</sup>, Özgül Yüzey 3400-3900 c m<sup>2</sup>/g.

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

##### 3.1.3. Deney numunelerinin hazırlanışı (Preparation of test samples)

Numunelerin hazırlanması esnasında kum ile birlikte, %80 doğal agrega ile %20 oranında mermer agrega ve çimento mikserine 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 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 1). Bahsedilen sürenin sona ermesi akabinde hazırlanan numuneler deneylerde kullanılmak üzere laboratuvara sevk edilmiştir. Hesaplamalar doğrultusunda deneyde kullanılan malzeme miktarları Tablo 1' de aşağıda verilmiştir.



Şekil 1. Deney hazırlıkları (Experimental preparations)

**Tablo 1.** Deneide kullanılan malzeme miktarları (Amounts of materials used in the experiment)

NO- İKAME YÜZDESİ (%)	ÇİMENTO (kg/m <sup>3</sup> )	Su (kg/m <sup>3</sup> )	Kum (kg/m <sup>3</sup> )	Doğal Agregası (kg/m <sup>3</sup> )	Mermer Agregası (kg/m <sup>3</sup> )	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

### 3.2.Deney Yöntemleri (Test Methods)

Çalışmada uygulanan tüm deneyler Türk Standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Deneyler Özkul Beton Elemanları A.Ş. ye ait laboratuvarlarda yapılmıştır (Şekil 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. Bu gradasyon 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 2. Laboratuvar ortamı (Laboratory)

#### 3.2.1. Yarmada çekme dayanımı deneyi (Splitting tensile strength test)

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 katıksız numuneler ile tuzlu suda bekletilen katıksız 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).





Şekil 3. Yarmada çekme dayanımı deneyi (Splitting tensile strength test)

### 3.2.2. Su- Tuzlu su emme deneyi (Water- Salt water absorption test)

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 (Wear resistance test)

Parke taşının üst yüzünü standart şartlar altında aşındırıcı çark ile aşındırması yapılarak aşınma direnci deneyi uygulanmıştır. Aşındırma makinesi 200 dev/dk'da çalışan ve bir mil etrafında dönmesini sağlayan iki başlı bir mekanizmadan oluşmaktadır. Deney, hazırlanmış olduğumuz (normal su ve tuzlu su küründe bekletilmiş) orijinal ölçülerdeki beton kilit taşları üzerinde yapılmıştır (Şekil 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 200 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 4. Aşınma direnci deneyi (Wear resistance test)

### 3.2.4. Basınç dayanımı deneyi (Compressive strength test)

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 300 ton basınç kapasiteli bir pres olup numunelere uygulanan yük düşük seviyede başlayıp numune kırılana kadar periyodik olarak otomatik bir şekilde arttırılmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. Basınç dayanımı deneyi (Compressive strength test)

### 3.2.5. Elastisite modülü tayini ( Determination of Elasticity Modulus)

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 (Yüksel, 2001).

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. Aşağıda TS-500/2000 yönetmeliğinde önerilen elastisite modülü hesap formülü verilmiştir. Ancak bu değerler, kalıcı yük durumunda zamanla yarı yarıya veya üçte birine kadar azalacaktır. Aşağıdaki (1) denklem, SI birimleri cinsinden yazılmış olup, metrik eşdeğeri parantez içinde verilmiştir.

$$E_{cj} = 3250 \sqrt{f_{cj}} + 14000 \quad (\text{metrik, } 10270 \sqrt{f_{cj}} + 140000) \quad (1)$$

$E_{cj}$ : 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 (Dandin, 2009).

## 4. Araştırma Bulguları (Research Findings)

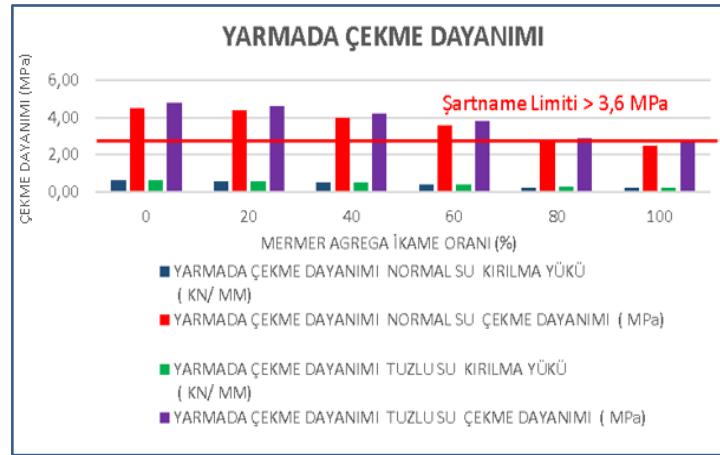
### 4.1. Yarmada Çekme Dayanımı Bulguları (Splitting Tensile Strength Findings)

Numunelere uygulanan yarmada çekme deneyine ait sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo 2.** Yarmada çekme dayanımı deneyi sonucu (Splitting tensile strength test result)

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

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 6).

**Şekil 6.** Yarmada çekme dayanımı deney sonuç grafiği (Splitting tensile strength test result chart)

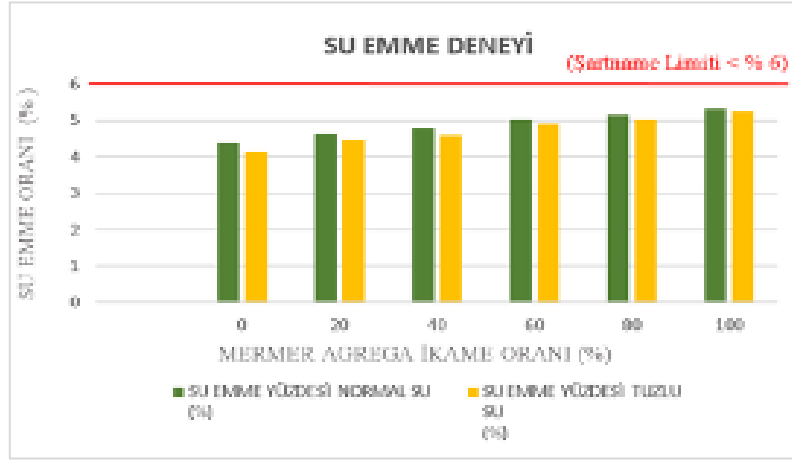
#### 4.2. Su-Tuzlu Su Emme Bulguları (Water-Salt Water Absorption Findings)

Numunelere uygulanan normal su ve tuzlu su emme deneyi sonuçları Tablo 3'de yer almaktadır.

**Tablo 3.** Su emme deneyi sonuçları (Water absorption test results)

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

Deney verileri ışığında; normal ve tuzlu suda bekletilen numunelerin su emme oranı % 6 üst sınırının altında kalmış olup, istenilen standardı sağladığı gözlemlenmiştir (Şekil 7).



Şekil 7. Su emme deney sonuç grafiği (Water absorption test result graph)

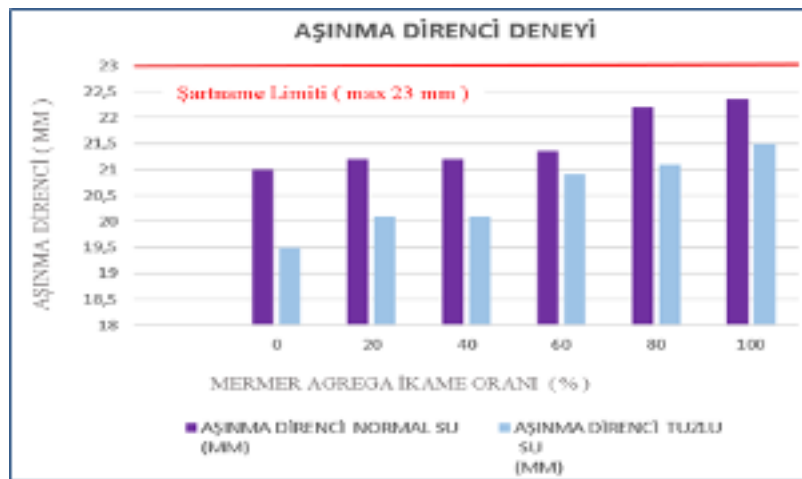
#### 4.3. Aşınma Direnci Bulguları (Wear Resistance Findings)

Aşınma direnci deneyinden elde edilen ölçümler Tablo 4' de yer almaktadır.

Tablo 4. Aşınma direnci deneyi sonuçları (Wear resistance test results)

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

Deney verileri ışığında; normal ve tuzlu suda bekletilen numunelerin aşınma testleri 23 mm üst sınırını aşmadığı gözlemlenmiştir. Tüm numuneler gerekli standartları sağlamıştır (Şekil 8).



Şekil 8. Aşınma direnci deney sonuç grafiği (Wear resistance test result chart)

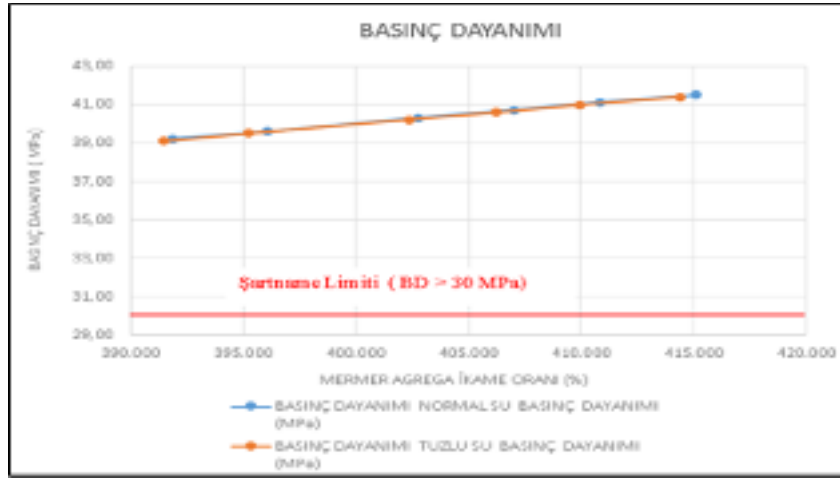
#### 4.4. Basınç Dayanımı Bulguları (Compressive Strength Findings)

Numunelerden elde edilen basınç dayanımı deneyi sonuçları aşağıdaki Tablo 5'de verilmiştir.

**Tablo 5.** Basınç dayanımı deneyi sonuçları (Compressive strength test results)

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

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 agrega oranı arttıkça az da olsa basınç dayanımının arttığı tespit edilmiştir (Şekil 9).

**Şekil 9.** Basınç dayanımı deney sonuç grafiği (Compressive strength test result chart)

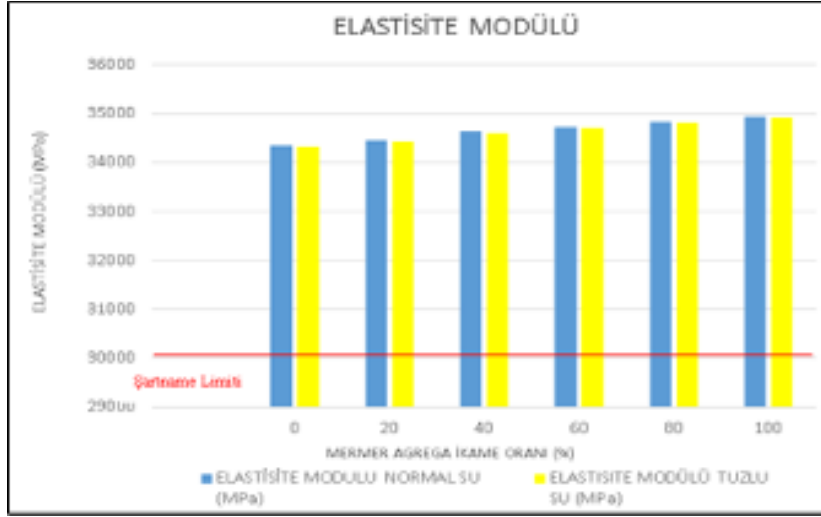
#### 4.5. Elastisite Modülü Tayini Sonuçları (Elasticity Modulus Determination Results)

Çalışmada Elastisite Modülünü tayin yöntemi olarak TS-500/2000 de geçen sekant yönteminden faydalanılmıştır. Bu hesaplama yönteminde numunelerin basınç dayanımı sonuçları ilgili denklemde geçen  $f_c$  değeri olarak kullanılmıştır. Bu denklemde kullanılan veriler ve elde edilen sonuçlar Tablo 6' da gösterilmiştir.

**Tablo 6.** Basınç dayanımı ve elastisite modülü (Compressive strength and modulus of elasticity)

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 10).



Şekil 10. Elastisite modülü grafiği (Elastic modulus chart)

### 5. Sonuç ve Öneriler (Conclusion And Recommendations)

Farklı oranlarda atık mermerlerin agrega olarak kullanıldığı, tuzlu su ve normal su da priz alacak şekilde hazırlanan numunelerle yapılan deneylerin sonuçları, TSE standartları ve Karayolları Teknik Şartnamesi (2013) 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-Hazırlanan numunelerde, agrega oranı %20 , %40 ve %60 oranında atık mermer kullanılarak elde edilen numunelerin, yarmada çekme dayanımını sağladığı görülmüştür. Ancak agrega olarak %80 ve %100 oranında atık mermer kullanılan numunelerin standartta belirtilen dayanım sınırının altında kaldığı ve istenilen mukavemeti sağlamadığı görülmüştür.

3-Deneye tabi tutulan 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.

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

Tuzlu suda ve normal suda bekletilerek elde edilen numunelere uygulanan deneylerden çıkan sonuçların birbirine yakın değerlerde olduğu tespit edilmiştir. Yapılan deney sonuçlarına göre beton parke taşının gerek buzlanmalara karşı yapılacak tuzlamalardan ve gerek denizlerden ve yağmurdan gelen tuz, asit ve çeşitli kimyasallardan olumsuz etkilenmeyeceği ön görülmektedir. Bu veriler ışığında Türkiye'nin sahil şeridinde yakın yerleşim bölgelerinde ve de soğuk iklim 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 artık yönetimi ve sürdürülebilirliği açısından faydalı olacağı düşünülmektedir. Yapılacak benzer çalışmalarla, mermer gibi atık sorunu büyük olan malzemelerin fiziksel olarak geri dönüşümünün sağlanabileceği öngörülmektedir.

### Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

### Kaynaklar (References)

- Açıkgöz, Y. (2008). Uçucu Küllerin Beton Kilitli Parke Taşı Üretiminde Kullanımının Araştırılması .(Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)
- 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.
- Babalık, Ö. (2022). Geri Dönüştürülmüş Agreganın Kullanımının Çevresel Etkilerinin Yaşam Döngüsü Değerlendirme (YDD) Yöntemi ile Değerlendirmesi. (Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü)
- 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 2016,Kütahya, 38-45.
- Çolakoğlu, H. (2022). Çeşitli Geri Dönüşümlü Agregaların Kayma Dayanımları. (Yüksek Lisans Tezi, Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Dandin, Z. (2009). Betonarme Kolon Performansına Çelik Lif Etkisinin İncelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Durmuş, G., Şimşek, O.,(2008). Uçucu Küllerin Beton Kilitli Parke Taşı Üretiminde Kullanımının Araştırılması .TÜBAV Bilim Dergisi, 1(1), 1-6
- Erdemoğlu, M., Göktepe, M. (2018). Mermer Artıklarından Katma Değeri Yüksek İleri Seramik Tozlarının Üretimi, Mermer Madenciliğinde Çevresel Yaklaşımlar, Ocak 2018, Muğla, 235-252.
- Erdemonar, M., (2022). Mermer Atıklarının Yapı Malzemesi Olarak Kullanımı. (Yüksek Lisans Tezi, Dicle 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
- Göktepe, M., (2013). Mermer Sanayi Atıklarından Yapay Kalsiyum Silikat Üretiminde Aşırı Öğütmenin Etkilerinin Seramik Malzemeler Üzerinde Araştırılması. (Doktora Tezi, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- 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.
- Keskin, S.B., Şahmaran, M., (2018). Mermer Atıklarının Yapı Malzemeleri Alanında Yüksek Hacimlerde Kullanılabilirliği. Mermer Madenciliğinde Çevresel Yaklaşımlar, Ocak 2018, Muğla, 219-234.
- TCTB (2021), Doğal Taşlar Sektör Raporu, Ticaret Bakanlığı Yayını, Ankara. [https:// ticaret.gov.tr/data/5b87000813b8761450e18d7b/Do%20C4%9Fal%20Ta%20C5%9Flar%20Sekt%C3%B6r%20Raporu%202021.pdf](https://ticaret.gov.tr/data/5b87000813b8761450e18d7b/Do%20C4%9Fal%20Ta%20C5%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 Agregası Olarak Betonda Kullanılmasıyla Çevre Kirliliğinin Azaltılması. International Sustainable Buildings Symposium. 26-28 May, Ankara.36-40.
- Yüksel, İ., (2001). Deprem Yükleri Etkisindeki Sünek Bina Sistemlerinde Yapısal Davranışın İrdelenmesi, Bildiri, ZKÜ Bilim Haftası, Z.K.Ü. Mühendislik Fakültesi.