



**T.C.  
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**SU ALTI BETONLARININ DENİZ SUYU VE TATLI SU  
ORTAMINDAKİ DAYANIM GELİŞİMİNİN İNCELENMESİ**

**(Yüksek Lisans Tezi)**

**Doğukan DİREN**

**Danışman  
Prof. Dr. İlker USTABAŞ**

**RİZE  
2025**

## KABUL VE ONAY

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında, Prof. Dr. İlker USTABAŞ danışmanlığında, Doğukan DİREN tarafından hazırlanan *Su Altı Betonlarının Deniz Suyu ve Tatlı Su Ortamındaki Dayanım Gelişiminin İncelenmesi* adlı bu tez çalışması, 28/05/2025 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliğiyle başarılı bulunarak jürimiz tarafından **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	Unvanı, Adı SOYADI	İmza
Başkan	: Prof. Dr. Şakir ERDOĞDU	
Üye	: Prof. Dr. Ayberk KAYA	
Üye	: Prof. Dr. İlker USTABAŞ	

## ETİK BEYAN

İnşaat Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programından mezun olmak üzere teslim ettiğim “Su Altı Betonlarının Deniz Suyu ve Tatlı Su Ortamındaki Dayanım Gelişiminin İncelenmesi” adlı tezim, bilim ve araştırma etiği prensiplerine riayet edilerek tarafımdan yazılmıştır.

Tez çalışmamda, başka kaynaklardan aktarılan bütün bilgi ve alıntılar, Enstitünüz Tez Yazım Kılavuzuna uygun olarak açıkça gösterilmiştir. Kaynağı gösterilenler dışında kalan bütün bilgiler uygun araştırma yöntemi kullanılarak tarafımdan edinilmiş ve esere bu şekilde yansıtılmıştır. Şahsıma ait olmayan hiçbir bilgi, kasıt veya kusurlar, şahsıma aitmiş gibi gösterilmemiştir. İnternet kaynakları dâhil, sahibine/kaynağına atıf yapılmaksızın hiçbir bilgi kullanılmamıştır. Aksinin ortaya çıkması halinde doğacak bütün hukuki, idari, akademik ve etik sorumluluk tarafıma ait olacaktır. Eserin tesliminden sonra herhangi bir zamanda, bilim etiğine aykırılık tespit edilmesi ve / veya eserimle ilgili intihal veya intihal şeklinde anlaşılacak bir durumun ortaya çıkması halinde; Üniversiteniz ve eğitim kadronuzun hiçbir şekilde sorumlu tutulmayacağını hür irademle kabul, beyan ve taahhüt ederim.  
28 /05/2025

**Doğukan DİREN**

## ÖN SÖZ

Bu tez, su altında dökülen betonların dayanım gelişimlerinin farklarını görmeyi amaçlamaktadır. Tezin ana hedefi, deniz suyu içerisine dökülen betonların tatlı suya kıyasla nasıl dayanım sağlayıp sağlamadığını belirlemektir. Çalışma kapsamında, aynı mikserden alınan aynı özelliklerdeki 2 farklı taze beton özel döküm yöntemleri ile farklı özelliklerdeki sulara dökülmüştür, elde edilen bulgular literatürdeki çalışmalarla karşılaştırılmıştır.

Öncelikle, tez danışmanım Prof. Dr. İlker USTABAŞ'a, tezin her aşamasında göstermiş olduğu sabır, destek ve değerli katkılarından dolayı sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak, tez yazım sürecinde bana manevi desteklerini esirgemeyen aileme ve arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Onların destekleri olmasaydı bu çalışmayı tamamlamak mümkün olmayabilirdi.

Doğukan DİREN  
RİZE/2025

## İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY .....	I
ETİK BEYAN .....	II
ÖN SÖZ .....	III
İÇİNDEKİLER .....	IV
ÖZET .....	VI
ABSTRACT.....	VII
KISALTMALAR .....	VIII
TABLolar LİSTESİ.....	IX
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	X
GİRİŞ .....	1
1. GENEL BİLGİLER .....	2
1.1. Su Altı Beton Üretim ve Döküm Yöntemleri.....	3
1.2. Prepakt Beton Üretimi .....	4
1.2.1. Pompa Beton Tekniği .....	5
1.2.2. Tremie Beton Tekniği .....	7
1.3. Su Altı Betonlarında Kullanılan Çimento ve Katkılar .....	8
1.3.1. Yıkama Önleyici Katkılar.....	8
1.3.2. Su Altı Betonlarından Çimento .....	11
2. LİTERATÜR ÖZETİ .....	12
3. YAPILAN ÇALIŞMALAR .....	18
3.1. Kullanılan Malzemeler.....	19
3.1.1. Çimento .....	19
3.1.2. Agrega .....	19
3.1.3. Kimyasal Katkı.....	21
3.1.4. Kullanılan Malzemeler, Özgül Ağırlıkları ve Oranları.....	21
3.1.5. Su Altı Beton Dökümü .....	21
3.1.6. Yer ve İklim Şartları .....	23
4. BULGULAR.....	25
5. TARTIŞMA.....	26
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	30

6.1. Sonuçlar .....	31
6.2. neriler .....	31
KAYNAKÇA.....	33



**Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

**Anabilim Dalı** : İnşaat Mühendisliği

**Tez Türü** : Yüksek Lisans Tezi

**Danışman** : Prof. Dr. İlker USTABAŞ

**Hazırlayan** : Doğukan DİREN

**Yıl** : 2025

**Sayfa Sayısı** : 35

## ÖZET

### SU ALTI BETONLARININ DENİZ SUYU VE TATLI SU ORTAMINDAKİ DAYANIM GELİŞİMİNİN İNCELENMESİ

Bu çalışma, su altı betonlarının farklı su ortamlarında döküldükten sonra maruz kaldıkları koşullara göre gösterdiği basınç dayanım gelişimini incelemeyi amaçlamaktadır. Özellikle kıyı koruma yapılarında kullanılan su altı betonların, deniz suyu ve tatlı su ortamlarında dayanım gelişimi farklılıkları gösterip göstermediği değerlendirilmiştir. Deneysel çalışmalarda, tremi borusu yöntemiyle dökülen betonlar dört farklı ortamda kürlenmiştir: deniz suyu, tatlı su (dere), açık hava (kara) ve laboratuvar kür havuzu. Her ortam için üretilen betonlardan 7 ve 28 günlük olduklarında karot numuneleri alınarak basınç dayanımı ölçümleri yapılmıştır.

Elde edilen sonuçlar, deniz ve tatlı su ortamlarında bekletilen numunelerin, açık havada bekletilen numunelere göre daha yüksek basınç dayanımı değerlerine ulaştığını ortaya koymuştur. Ayrıca laboratuvar ortamında kürlenmiş numunelerle saha betonları arasında TS EN 13791 standardında belirtilen oranda (%15) dayanım farkı gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, deniz ve dere ortamlarında dökülen betonların dayanım gelişiminin yüksek performans sergilediğini ve yapısal olarak herhangi bir sorun oluşturmadığını göstermektedir. Bu çalışma, su altı yapılarında malzeme seçimi ve döküm yöntemlerinin önemine dikkat çekmekte ve mühendislik uygulamalarına gerçek anlamda yol göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Beton dayanımı, Deniz suyu, Su altı beton, Tatlı su

**Recep Tayyip Erdogan University Institute of Graduate Studies**

**Department** : Civil Engineering  
**Thesis Type** : Master's Thesis  
**Supervisor** : Prof. Dr. İlker USTABAŞ  
**Author** : Doğukan DİREN  
**Year** : 2025  
**Pages** : 35

## **ABSTRACT**

### **RESEARCH ON THE STRENGTH DEVELOPMENT UNDERWATER CONCRETE IN SEA AND FRESH WATER ENVIRONMENTS**

This study aims to examine the compressive strength development of underwater concretes under different water environments. In particular, it investigates whether the performance of concretes used in coastal protection structures varies between seawater and freshwater conditions. In the experimental study, concretes poured using the tremie pipe method were tested under four different curing conditions: seawater, freshwater (stream), open air (land), and laboratory curing pool. Core samples were taken from each environment on the 7th and 28th days, and compressive strength tests were conducted.

The results revealed that the samples cured in seawater and freshwater environments reached higher compressive strength values compared to those kept in open-air conditions. Furthermore, a compressive strength difference of approximately 15% was observed between field samples and those cured in the laboratory, in line with the TS EN 13791 standard. These findings indicate that underwater concretes cast in sea and stream conditions exhibit strong performance and do not pose structural concerns. This study emphasizes the significance of material selection and casting methods in underwater structures and contributes to engineering practices.

**Keywords:** Strength development, Sea water, Underwater concrete, Freshwater

## KISALTMALAR

$\mu$	:	Mikro
$^{\circ}\text{C}$	:	Santigrat derece
$\text{Al}_2\text{O}_3$	:	Alüminyum Oksit
$\text{C}_3\text{A}$	:	Trikalsiyum Alüminat
$\text{CaO}$	:	Kalsiyum Oksit
$\text{Cl}^-$	:	Klorür İyonu
$\text{dm}^3$	:	Desimetreküp
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	:	Demir (III) Oksit
$\text{K}_2\text{O}$	:	Potasyum Oksit
kg	:	Kilogram
$\text{kg/m}^3$	:	Kilogram Metreküp
$\text{MgO}$	:	Magnezyum Oksit
mm	:	Milimetre
MPa	:	Megapascal
$\text{Na}_2\text{O}$	:	Sodyum Oksit
pH	:	Potansiyel Hidrojen
$\text{Si}_2\text{O}$	:	Silisyum Oksit
$\text{SO}_3$	:	Sülfür Trioksit
vd.	:	Ve diğerleri

## TABLolar LİSTESİ

<b>Tablo 1.</b> Pompalama yardımcıları ve yıkanmayı önleyici katkı maddeleri (Ramachandran, 1984).....	9
<b>Tablo 2.</b> Suda çözünebilir polimerlerin sınıflandırılması (Kawai, 1987).....	9
<b>Tablo 3.</b> Çalışmada kullanılan CEM I 42.5R SR 5 çimentosunun özellikleri.....	19
<b>Tablo 4.</b> Betonda kullanılan agregalar ve beton karışıma giren yüzde ve su emme yüzdeleri.....	20
<b>Tablo 5.</b> Su altı betonlarında kullanılan malzeme ve miktarları .....	21
<b>Tablo 6.</b> Su altı betonları karot numune dayanımları .....	25
<b>Tablo 7.</b> 150.150.150 mm kür havuzunda bekletilen numunelerin basınç dayanımı (MPa) .....	25

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Prepakt beton üretim süreci .....	4
Şekil 2. Pompa ile beton dökme yöntemi .....	6
Şekil 3. Tremie yöntemi.....	7
Şekil 4. Su altı betonu dökümü.....	18
Şekil 5. Rize deniz kenarı su altı betonuyla inşa edilmiş kenar yapısı.....	18
Şekil 6. Su altı betonu karışım agregasının granülometri eğrisi.....	20
Şekil 7. Beton dökümü .....	22
Şekil 8. Karot numune alınmış su altı betonu.....	22
Şekil 9. Karot dayanımı ölçümü için başlıklama için hazırlanmış karot numuneler.	23
Şekil 10. Beton dökümleri uydu görüntülü lokasyonları.....	23
Şekil 11. Deniz, ırmak, kara ve laboratuvarda bekletilen numunelerin basınç dayanımları .....	26
Şekil 12. Deneysel Avantaj ve Dezavantaj Kıyas Tablosu .....	27

## GİRİŞ

Kıyı koruma yapıları, deniz aşındırmaları, dalga etkileri ve diğer çevresel faktörlere karşı sahil bölgelerini korumak amacıyla inşa edilen önemli inşaat teknolojisi yapılarıdır. Bu tür yapıların uzun ömürlü ve güvenilir olması, kullanılan malzemelerin çevresel koşullara karşı göstereceği dayanım gelişimi ile doğrudan ilişkilidir. Özellikle betonun deniz altı koşullarında dökülmesi sırasında oluşabilecek sıkıntılar ve sonrasında gösterdiği dayanım gelişimi davranışı, kıyı yapılarının hizmet ömrü(projede belirtilen) açısından kritik bir öneme sahiptir.

Bu çalışmada, su altı betonlarının deniz suyu ve tatlı su ortamlarında gösterdiği dayanım gelişimi incelenmiş; bu doğal ortamların beton üzerindeki etkileri kıyaslanmalı olarak analiz edilmiştir. Çalışmanın asıl gayesi, kıyı koruma yapılarında kullanılan su altı betonlarının deniz ortamında dayanım gelişiminde herhangi bir kayba uğrayıp uğramadığını, dolayısıyla uzun vadede bir beklenen sorunlar dışında sorun oluşturup oluşturmayacağını ortaya koymaktır.

Deneysel süreçte, tremi borusu yöntemiyle beton dökülerek su altı döküm koşulları simüle edilmiştir. Hazırlanan beton numuneleri; deniz suyu, tatlı su ve laboratuvar koşullarında kürlenmeye bırakılmış, priz alma süreçleri izlenmiş ve belirli zaman aralıklarında dayanım testlerine tabi tutulmuştur. Elde edilen veriler, betonun farklı su ortamlarında nasıl bir dayanım davranışı sergilediğini gözler önüne sermektedir.

Bu çalışma, sadece akademik literatüre katkı sağlamayı değil, aynı zamanda gerçek inşaat kıyı koruma uygulamalarında kullanılacak betonların seçiminde yol gösterici olmayı amaçlamaktadır.

## 1. GENEL BİLGİLER

On yıllardır köprü ayakları, liman yapıları, deniz ve nehir savunma sistemleri ile son dönemlerde açık deniz petrol sahalarının inşası gibi çeşitli mühendislik uygulamaları, betonun su altına yerleştirilmesini zorunlu kılmıştır. Bu süreç, betonun maruz kaldığı zorlu çevresel koşullar nedeniyle teknik açıdan titizlikle ele alınması gereken bir mühendislik problemidir. Betonun su altında başarılı bir şekilde uygulanabilmesi, karışım tasarımının optimize edilmesine ve uygun üretim tekniklerinin seçilmesine doğrudan bağlıdır. Özellikle betonun yıkanma direnci, işlenebilirliği ve mekanik dayanımı, su altı yerleşimi sırasında karşılaşılan en önemli mühendislik parametreleri arasında yer almaktadır. Bu bağlamda, kullanılan çimento türü, süper akışkanlaştırıcılar ve yıkanma önleyici katkı maddeleri gibi faktörlerin etkili bir şekilde yönetilmesi, betonun istenilen performans kriterlerini sağlamasında belirleyici bir rol oynamaktadır. Dolayısıyla, uygun malzeme seçimi ve yöntem optimizasyonu ile su altında yüksek dayanımlı ve uzun ömürlü beton elde edilmesi mümkün olmaktadır (Sonebi vd., 2000; Lu vd., 2022).

Su altı beton yapıları, inşaat, hidroelektrik ve deniz mühendisliği alanlarında önemli bir yapı malzemesi olarak değerlendirilmekte olup, barajlar, su altı tünelleri, iskeleler ve kıyı koruma sistemleri gibi çeşitli altyapı projelerinde yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bu tür yapılar, uzun süre boyunca su akışına bağlı erozyon, deniz suyu ve çevresel faktörlerin neden olduğu korozyon, dinamik yüklerin sebep olduğu yorulma etkileri ve donma-çözülme döngüleri gibi zorlu koşullara maruz kalmaktadır. Bu etkenler, betonun fiziksel ve mekanik özelliklerinde zamanla bozulmalara yol açarak yapısal bütünlüğünü tehdit edebilmekte ve dayanıklılığını azaltmaktadır. Özellikle deniz ortamında yüksek tuz içeriği ve akışkan hareketlerinin neden olduğu aşındırıcı etkiler, beton yüzeylerinde çatlakların oluşmasına, agregaların gevşemesine ve genel malzeme direncinin düşmesine sebep olmaktadır. Bu nedenle, su altı beton yapılarının uzun ömürlü ve dayanıklı olabilmesi için malzeme performansını iyileştirmeye yönelik mühendislik çözümlerinin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır (Mehta, 1980; Wang vd., 2024).

Büyük ölçekli su altı inşaat projelerinde su altı köprüleri, rıhtımlar ve benzeri yapılar için binlerce metreküp su altı betonu kullanılmaktadır. Bu projeler, betonun

su altında güvenli ve etkili bir şekilde yerleştirilmesini sağlamak amacıyla özel yöntemler ve teknikler gerektirmektedir. Betonun su altına yerleştirilmesi, kıyı içi ve kıyı dışı yapılar için kritik bir aşamadır. Su altı betonunun dökümü, tasarım aşamasından uygulama ve denetim süreçlerine kadar mühendisler için önemli zorluklar sunmaktadır. Sualtı çalışma sahalarının zor erişilebilirliği ve zayıf görünürlüğü nedeniyle, sualtı beton işlemlerinin kalitesi ve bütünlüğü konusunda belirsizlikler yaşanabilmektedir. Ayrıca, su altına yerleştirilen beton, segregasyon, şerbetlenme, çimento yıkanması, boşluklar, soğuk derzler ve su sıkışması gibi olumsuz durumlara karşı daha hassas olmaktadır. Sualtı betonlamasında, enjeksiyonlu agregalar gibi yenilikçi teknikler kullanılmakta olup, bu yöntemler, açık deniz üretimi, karada üretim ve deniz yoluyla taşıma gibi başlıca üretim yöntemleriyle birlikte uygulanmaktadır (Yao vd., 1999; Abdelgader vd., 2010).

Bu çalışmada, deniz ve derede dökülen su altı betonlarında deniz dalgası ve dere suyu akıntısının betonun dayanım gelişimini nasıl etkilediği belirlenmiştir. Karadeniz deniz kıyısında, İyidere deresinde su altı betonları dökülüp aynı bölgede karada dökülen betonun basınç dayanımları kıyaslanmıştır.

Bu çalışmanın amacı su altı betonlarının deniz suyu ve tatlı suda basınç dayanım gelişiminin nasıl olduğunu belirlemektir. Bu amaçla Karadeniz İyidere mevkiinde denizde, İyidere çayında suda, suya maruz olmayan dış ortam şartlarında ve laboratuvar kür ortamında olacak biçimde dört farklı su altı betonları için üretilen betonlar dökülmüştür. Dökülen bu betonlardan 7 ve 28 günlük karot numuneler üzerinden betonların basınç dayanımı değişimleri takip edilmiştir.

Deniz kıyısında deniz suyuna maruz sualtı betonunun basınç dayanımını tespit etmek, ırmak akıntısına maruz sualtı betonunun basınç dayanımını tespit etmek ve aynı betonların Rize ili hava şartlarında ve laboratuvar kür ortamında basınç dayanımlarını belirlemek çalışmanın hedefleridir.

### **1.1. Su Altı Beton Üretim ve Döküm Yöntemleri**

Büyük ölçekli yapıların nehir, liman veya kıyı bölgelerinde inşa edilmesi sırasında, su altındaki yapı elemanlarının oluşturulabilmesi için su altı betonunun kullanımı genellikle zorunlu hale gelmektedir. Belirli koşullar altında, su altı betonunun tercih edilmesi, yapının inşası için teknik açıdan tek geçerli seçenek

olarak öne çıkarken, bazı durumlarda ise ekonomik ve zaman açısından en verimli çözüm olarak belirginleşmektedir. Bu bağlamda, güvenlik, dayanıklılık ve maliyet etkinliği gibi faktörler göz önünde bulundurularak, su altı betonunun kullanımı sürdürülmektedir. Su altı betonunun etkin bir şekilde uygulanabilmesi için ise çeşitli üretim ve döküm yöntemleri geliştirilmiştir (Gerwick vd., 1981).

## 1.2. Prepakt Beton Üretimi

Prepakt beton olarak da bilinen iki aşamalı beton, iri agregaların önceden kalıba yerleştirilmesi ve ardından bu agregalar arasındaki boşlukların çimentolu harç ile doldurulmasıyla üretilen özel bir beton türüdür. Bu üretim yöntemi, betonun mekanik özelliklerini doğrudan etkileyen kompakt bir yapı oluşmasını sağlar. Özellikle, harç dolgusunun yoğunluğu ve rijitliği, iki aşamalı betonun genel performansını belirleyen temel unsurlar arasında yer almaktadır. İki aşamalı beton, su altı yapıları, dar kesitli donatılı beton elemanların üretimi ve beton yüzeylerin onarımı gibi özel mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Najjar vd., 2014; Zhou vd., 2024).

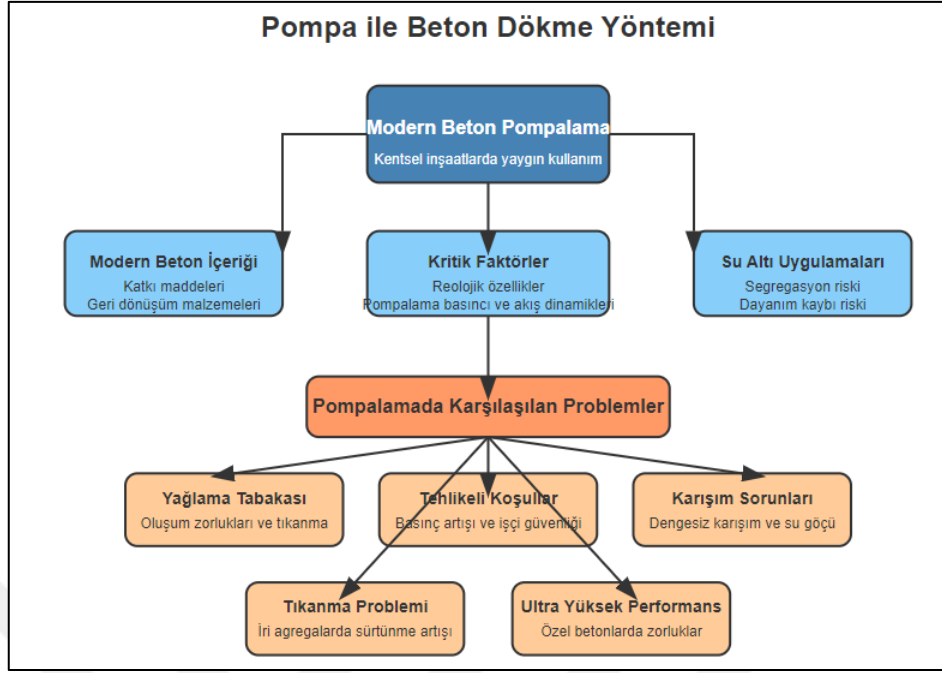


Şekil 1. Prepakt beton üretim süreci

Prepakt beton, Şekil 1’de gösterildiği basamaklardan ziyade geleneksel beton uygulamalarının yerine geçmemekle birlikte, özellikle mevcut beton yapıların onarımı sürecinde ve olağan dışı ya da zorlu yerleştirme koşullarında etkili bir alternatif olarak değerlendirilmektedir. Bu malzemenin uygulanabilirliğinin yüksek olması ve istenilen performans kriterlerini sağlayabilmesi, onu belirli mühendislik uygulamaları açısından avantajlı kılmaktadır. Ayrıca, uygulama sürecinin nispeten basit olması, deneyim düzeyi görece düşük olan beton işçileri ve yüklenicilerin de kısa sürede bu yöntemi etkin bir şekilde kullanabilmesine olanak tanımaktadır (Warner, 2005).

### **1.2.1. Pompa Beton Tekniği**

Pompa ile beton dökme yöntemi, yalnızca su altı beton dökme uygulamalarına özgü bir teknik olmayıp, günümüzde kentsel inşaat projelerinde yaygın olarak tercih edilmektedir. Proje alanlarında taze betonun taşınmasında en sık kullanılan yöntemlerden biri olan pompalama, küresel beton kullanımının artışıyla birlikte giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda, modern beton karışımlarında çeşitli katkı maddeleri, geri-dönüşüm malzemeleri ve mineral bileşenler yer almakta olup, bu durum betonun performansını ve pompalanabilirlik özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Geleneksel betonla karşılaştırıldığında, modern betonun pompalama davranışı, özellikle taze beton aşamasında daha karmaşık bir yapı göstermektedir. Pompalama sürecinin etkin bir şekilde gerçekleşebilmesi için betonun bileşimi, işlenebilirliği, basınç ve kesme davranışları ile sıcaklık gibi birçok faktörün dikkate alınması gerekmektedir (Li vd., 2020).



**Şekil 2.** Pompa ile beton dökme yöntemi

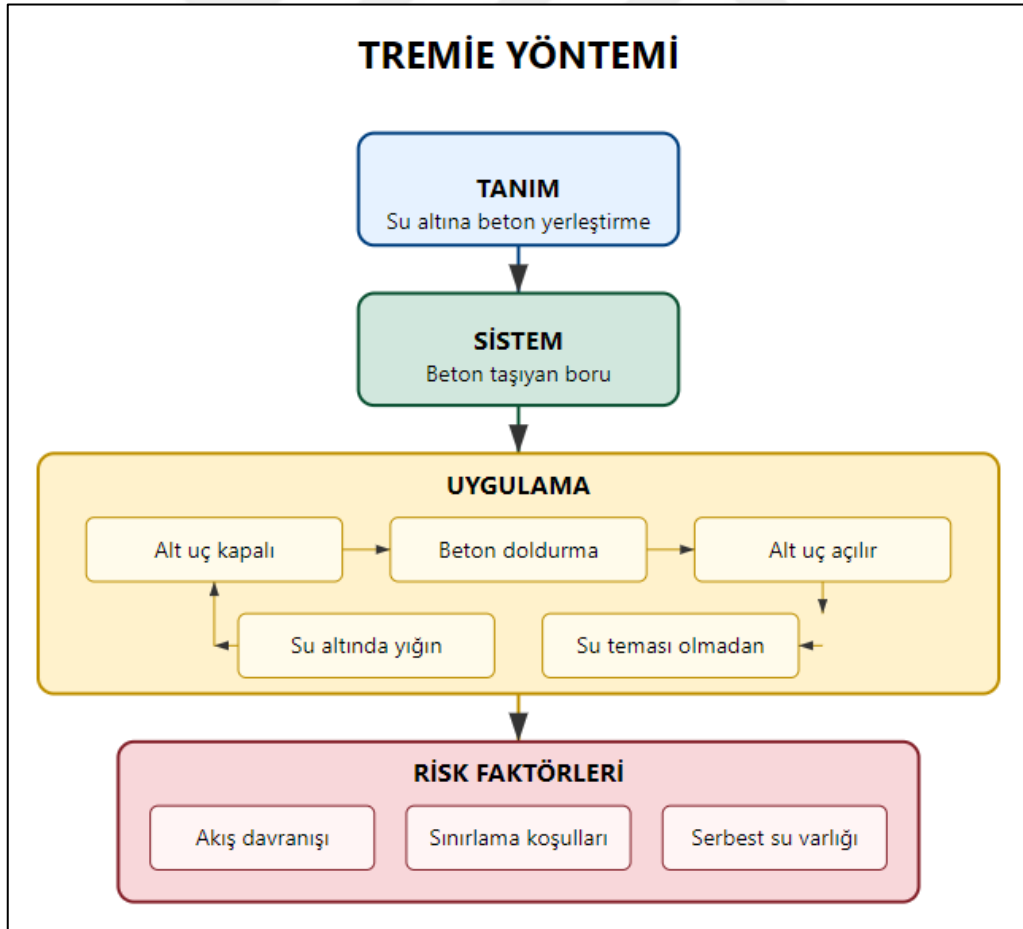
Pompalama yöntemleriyle günlük milyonlarca metreküp beton yerleştirilmesine rağmen, süreç tam olarak anlaşılammıştır. Şekil 2’de anlaşılammamasından kaynaklı ve genel problemler belirtilmiştir. Özellikle su altı beton dökümünde, segregasyon riski, priz sürecinin olumsuz etkilenmesi ve bağlayıcı malzemelerin yıkanarak dayanım kaybına uğraması gibi ek zorluklar ortaya çıkmaktadır. Bu süreçte betonun reolojik özellikleri, pompalama basıncı ve boru içi akış dinamikleri gibi değişkenler de kritik faktörler olup, sürecin daha iyi anlaşılmasını gerektiren unsurlardır. Beton pompalama yöntemlerinde karşılaşılan olumsuzluklar ise şu şekildedir:

- Yağlama tabakası oluşumundaki zorluklar: Uygun yağlama tabakası oluşmadığında beton akışı zorlaşır ve tıkanma riski artar.
- Tıkanma problemi: Özellikle iri agrega oranı yüksek betonlarda sürtünme artışı nedeniyle borularda tıkanma meydana gelebilir.
- Tehlikeli çalışma koşulları: Tıkanmalar sonucu basınç artışı, ekipman hasarı ve işçi güvenliği riskleri oluşabilir.
- Ultra yüksek performanslı betonlarda zorluklar: Özel yapısal gereksinimlere sahip betonların pompalanması daha karmaşık hale gelebilir.

- Dengesiz karışım sorunları: Homojen olmayan beton karışımlarında pompalama sırasında ayrışma ve düzensiz akış görülebilir.
- Basınca bağlı su göçü: Düşük viskoziteli karışımlarda yüksek basınç altında su ayrışması meydana gelebilir, bu da karışım özelliklerini bozabilir (Feys vd., 2022).

### 1.2.2. Tremie Beton Tekniği

Betonun su altına yerleştirilmesi amacıyla kullanılan ve “tremie” olarak adlandırılan yöntemin kökeni, 1848 yılında Mühendisler Birliği subayı Robert E. Lee tarafından gerçekleştirilen deneylere dayanmaktadır. Farklı yöntemler üzerine yürütülen çalışmalarla birlikte gelişim gösteren tremie yöntemi, büyük ölçekli inşaat mühendisliği projelerinde temel bir teknik haline gelmiştir (Gerwick, 2004). Şekil 3’de anlaşılmasından kaynaklı ve genel problemler belirtilmiştir.



Şekil 3. Tremie yöntemi

Temel olarak, tremie, betonun su altındaki hedef noktaya ulaşmasını sağlamak amacıyla yüzeyden itibaren yeterli uzunlukta tasarlanmış bir boru sistemidir. Genellikle, kova, pompa veya konveyör vasıtasıyla taşınan betonun tremie içerisine aktarılmasını kolaylaştırmak için sistemin üst kısmına bir hazne eklenmektedir. İlk aşamada, tremie'nin alt ucu suyun girişini önlemek amacıyla kapatılmakta, ardından betonla doldurulduğunda hafifçe yukarı kaldırılarak alt ucundaki conta kırılmakta ve betonun serbest akışı sağlanmaktadır. Bu süreçte, beton tremie'nin ucundan dışarı akarak suyun altında bir yığın oluşturmakta ve teorik olarak, sonrasında ilave edilen beton bu yığın içerisine akarak su ile doğrudan temas etmeden yerleşmektedir. Bu yöntem, betonun su altında dağılmasını ve ayrışmasını önlemeye yönelik etkin bir teknik olarak değerlendirilmektedir (Gerwick vd., 1981).

Akış davranışı, sınırlama koşulları ve serbest su mevcudiyeti, tremie beton temellerindeki belirli kusurların oluşumunda etkili olan temel faktörler olarak tanımlanmaktadır. Bu unsurlar, betonun yerleştirilmesi sırasında karşılaşılan zorlukları ve potansiyel problemleri doğrudan etkileyerek, yapının bütünlüğünü ve dayanıklılığını riske atabilir. Akış davranışı, betonun tremie borusu içerisindeki hareketini ve dağılımını belirlerken, sınırlama koşulları, yerleştirme sırasında ortamın fiziksel koşullarını etkileyen parametreleri ifade etmektedir. Ayrıca, serbest suyun varlığı, betonun doğru şekilde yerleşmesini engelleyerek homojen olmayan bir yapı oluşumuna neden olabilir (Wilkes vd.,2024).

### **1.3. Su Altı Betonlarında Kullanılan Çimento ve Katkılar**

#### **1.3.1. Yıkanma Önleyici Katkılar**

Viskozite artırıcı katkıları, aynı zamanda yıkanma önleyici katkıları olarak da bilinmekte olup, çimento esaslı malzemelerin viskozitesini ve kohezyonunu artıran suda çözünür polimerlerdir. Sıvı fazın viskozitesinin yükseltilmesi, bileşenlerin ayrışma eğilimini azaltarak sertleşmiş ürünün homojenliğini ve performansını iyileştirmek amacıyla akışkan sistemlerde önemli bir rol oynamaktadır. Bu katkıları, su altında döküldüğünde farklı yoğunluktaki bileşenlerin minimum düzeyde ayrışmasını ve çevredeki su ile etkileşimini sınırlayarak, yüksek akışkanlık özelliği

ile birlikte yeterli kohezyona sahip çimento bazlı bir malzeme elde edilmesini sağlamaktadır. Genellikle yüksek menzilli bir su azaltıcı ile birlikte kullanılan bu katkılar, çimento bazlı sistemlerin stabilitesini artıran ve su tutma kapasitesini iyileştiren suda çözünür polisakkaritlerden oluşmaktadır. Özellikle deniz ve hidrolik yapıların sualtı onarımlarında, perde duvarlar ile derin temel duvarlarının inşasında kullanılan tremie betonunda yaygın olarak tercih edilmektedir. Ayrıca, taşıma, yerleştirme ve konsolidasyon aşamalarında betonun heterojen bileşenlerinin ayrılma riskini azaltarak, plastik haldeyken ilave stabilite sağlamaktadır (Khayat, 1998).

**Tablo 1.** Pompalama yardımcıları ve yikanmayı önleyici katkı maddeleri (Ramachandran, 1984)

Sınıf	Fiziksel Etki	Malzeme Örnekleri
A	Karışım suyunun viskozitesini artıran suda çözünebilir sentetik ve doğal organik polimerler	Selüloz-eterler, polietilen oksitler vb.
B	Çimento taneciklerine adsorbe olan ve çimento tanecikleri arasındaki çekimi artırarak viskoziteyi yükselten organik suda çözünebilir flokülünler	Karboksil gruplu stiren kopolimerleri, sentetik polielektrolitler, doğal gamlar
C	Parçacıklar arası çekimi artıran ve çimento hamuruna ek süper ince parçacıklar sağlayan çeşitli organik maddelerin emülsiyonları	Akrilik emülsiyonlar, sulu kil dispersiyonları
D	Hamurun su tutma kapasitesini artıran, yüksek yüzey alanlı, suda şişebilen inorganik maddeler	Bentonitler, silika dumanı, öğütülmüş asbest
E	Hamurdaki ince parçacık içeriğini artıran yüksek yüzey alanlı inorganik maddeler	Uçucu kül, hidrate kireç, diatomlu toprak

**Tablo 2.** Suda çözünebilir polimerlerin sınıflandırılması (Kawai, 1987)

Sınıf	Tanım	Malzeme Örnekleri
<b>1. Doğal Polimerler</b>	Doğal olarak oluşan suda çözünebilir polimerler	Nişasta, doğal gamlar, bitki proteini
<b>2. Yarı Sentetik Polimerler</b>	Doğal malzemelerden elde edilen modifiye edilmiş polimerler	Parçalanmış nişasta ve türevleri; hidroksipropil metil selüloz (HPMC), hidroksietil selüloz (HEC) ve karboksi metil selüloz (CMC) gibi selüloz-eter türevleri; sodyum aljinat gibi elektrolitler
<b>3. Sentetik Polimerler</b>	Tam olarak sentetik yollarla üretilen polimerler	Polietilen oksit gibi etilen bazlı polimerler; polivinil alkol gibi vinil bazlı polimerler

Taze betonun reolojik özelliklerini etkileyen yıkanma önleyici katkı maddelerinin büyük bir kısmı, suda çözünebilen polimerlerden oluşmaktadır. Özellikle su altı yerleştirmeleri ve onarım uygulamaları için tasarlanan beton karışımlarında kullanılan bu katkıları, yüksek işlenebilirlik ve akışkanlık sağlamak amacıyla yaygın olarak tercih edilmektedir. Beton üretiminde sıklıkla kullanılan yıkanma önleyici katkıları arasında selüloz türevleri ile welan sakızı gibi mikrobiyal kaynaklı polisakkaritler bulunmaktadır. Buna ek olarak, akrilamid ve sodyum akrilattan oluşan poliakrilamid kopolimerlerinin kısmi hidroliz ürünleri gibi asidik bazlı polimerler de bu amaçla kullanılmaktadır. Akrilamid içeriği ile öne çıkan bu polimerler, yıkanma önleyici katkıları grubunda yer almaktadır. Selüloz türevleri ise noniyonik selüloz eter içeren katkıları olarak farklı bileşenler ile birlikte uygulanmaktadır. Katkı maddelerinin beton içerisindeki konsantrasyonuna bağlı olarak, polimer zincirlerinin dolanması veya birleşmesi sonucunda düşük kayma hızlarında görünür viskozitenin arttığı belirlenmiştir. Bunun yanı sıra, yıkanma önleyici katkıları kullanımı, betonun kohezyonunu güçlendirerek bileşenler arasındaki ayrışma riskini azaltmaktadır (Khayat, 1995).

Literatürde, su altı beton üretiminde birçok katkı maddesi kullanıldığı ve bu maddelerin hem avantajları hem de dezavantajları sunduğu belirtilmiştir. Polisakkarit zamlarının, su altı betonlama, püskürtme beton uygulamaları ve pompalama destekli beton türlerinde akış direncini artırdığı, ancak sertlik üzerinde sınırlı bir etkisi olduğu saptanmıştır. Ayrıca, polisakkarit zamlarının ve yüksek aralıklı su azaltıcı katkıları, zaman içinde akış direncini artırdığı, ancak bu etkinin kimyasal değil, fiziksel bir mekanizmaya dayandığı ifade edilmiştir (Ghio vd., 1995). Deniz suyu ve deniz kumunun, yıkanma önleyici su altı betonlarının yıkanma direncini artırdığı, ancak basınç dayanımını olumsuz etkilediği bulunmuştur. Deniz suyundaki magnezyum iyonlarının çimento ile kimyasal etkileşime girerek yıkanma performansını iyileştirdiği, ancak yapısal kusurlara yol açan bir film oluşturduğu vurgulanmıştır (Xiao vd., 2023). Anyonik özellikteki yıkanma önleyici katkıları, su altı betonunun işlenebilirliğini ve dayanımını noniyonik katkıları kıyasla daha etkili bir şekilde iyileştirdiği, bu katkıları ile üretilen betonun 28 günlük basınç dayanımında belirgin bir artış göstererek daha kararlı bir yapı sergilediği ortaya konulmuştur (Song vd., 2024).

Ayrıca, yıkanma önleyici katkıların, su altı üç boyutlu beton baskısında dağılmayı önleyerek mekanik özellikleri iyileştirdiği tespit edilmiştir. Mikro silika, nano silika ve hidroksipropil metil selüloz kombinasyonunun, su altında basılabilirliği artırırken eğilme ve bağlanma mukavemetlerinde önemli gelişmeler sağladığı ifade edilmiştir (Li ve Zhang, 2024).

### **1.3.2. Su Altı Betonlarından Çimento**

Su altı betonu, özellikle köprü ayakları gibi su altı yapılarını inşa etmek amacıyla kullanılan, kendiliğinden konsolide olan ve kohezyon özelliğine sahip bir betondur. Geleneksel beton kullanıldığında, malzemenin çevredeki suya karışmasını en aza indirmek için, su altı betonu yüksek viskoziteye sahip olacak şekilde formüle edilir ve yıkanmayı engelleyen katkı maddeleri kullanılır. Geleneksel betonun kalitesinin düşmesi ise, çimento ve ince partiküllerin suya karışması sonucu meydana gelen yıkama etkilerinden kaynaklanmaktadır (Yahya vd., 2021).

Su altı beton üretiminde, çimento malzemesi olarak uçucu kül, silis ve yüksek fırın cürufu gibi katkı maddeleri kullanılmıştır. Bu atık malzemelerin kullanımı, hem sürdürülebilirlik açısından önemli bir katkı sağlamakta hem de su altı betonunun mekanik ve fiziksel özelliklerini iyileştirmektedir. Söz konusu malzemeler, betonun dayanıklılığını artırarak, su altında maruz kaldığı zorlu koşullara karşı daha yüksek performans göstermesine olanak tanımaktadır. Bu süreç, çevresel etkilerin azaltılması ve kaynakların verimli kullanılması açısından da önemli bir adım olarak değerlendirilebilir. Bu bağlamda, su altı beton üretiminde kullanılan alternatif çimento malzemeleri, yapısal özellikleri iyileştirirken aynı zamanda çevresel sürdürülebilirliği desteklemektedir (Khayat ve Sonebi, 2001; Moon ve Shin, 2006; Horszczaruk ve Seul, 2022).

## 2. LİTERATÜR ÖZETİ

Falkner ve Henke (1998), tarafından yapılan çalışmada, Berlin'in Potsdamer Platz bölgesindeki derin bina çukurlarında su altı beton plakalarının kullanımı incelenmiştir. Bu bina çukurlarının su seviyesinin altında yer alması ve çevre koruma gereklilikleri nedeniyle, derin kısımlarda sızdırmazlık enjeksiyon katmanlarının kullanılmayacağı bir durumda, gergi kazıklarıyla desteklenen bir su altı beton plakası inşa edilmiştir. Çalışma, beton döşemelerde su basıncının yüksek olması ve düzensiz şekillerin varlığı göz önünde bulundurularak, düz beton yerine çelik lifli beton kullanımının yapının güvenliğini artırmadaki rolünü incelemiştir. Hem laboratuvar hem de şantiyede yapılan testler, çelik lifli betonun bu inşaat projesinin güvenliğine önemli katkılarda bulunduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, betonlama sürecindeki kalite kontrolün önemi vurgulanmış ve bu tür bir su altı beton plakası için çelik lifli beton kullanımının, yer altı su seviyesinin çok altında yapılan binalarda genel güvenliğe katkıda bulunacak yeni bir konsept sunduğu belirtilmiştir.

Sonebi ve Khayat (2001), tarafından yapılan çalışmada, sualtı onarımında kullanılan betonların performansını artırmak amacıyla, yıkanma önleyici katkı dozajının, su-çimento oranının (w/cm) ve bağlayıcı bileşiminin betonun bağıl kalıntı dayanımı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Araştırmada, bağlayıcı kütlece %0,07 ve %0,15 oranında toz haline getirilmiş welan sakızı ve sıvı bazlı selülozik katkı kullanılarak beton karışımlarının dayanımı analiz edilmiştir. Çalışmanın sonuçları, yıkanma önleyici katkı dozajının artırılması, su-çimento oranının azaltılması ve %10 silika dumanı ikameli çimento veya üçlü bağlayıcı kullanılması durumunda bağıl kalıntı mukavemetinin arttığını göstermektedir. Çalışmada ayrıca, belirli çökme akış değerlerine sahip beton karışımlarının, bağıl kalıntı basınç dayanımlarını önemli ölçüde artırdığı ve bu tür karışımların sualtı betonları için uygun performansı sağladığı sonucuna varılmıştır. Özellikle, silis dumanı ve uçucu kül ile ikame edilen çimentolar, sualtı betonlarının yıkanma direncini ve dayanımını artırmaktadır.

Assaad ve Issa (2013), tarafından yapılan çalışmada, su altı betonunun yerinde sertleşmiş özelliklerinin, döküm ve döküm sonrası aşamalarda meydana gelen yıkama kaybı ve su sızmasından nasıl etkilendiği incelenmiştir. Çalışmada,

yeni karıştırılmış su altı betonunda su geçirgenliğini değerlendirmek amacıyla bir permeametre hücresi kullanılarak düşen kafa yönteminin uygunluğu test edilmiştir. Sonuçlar, su geçirgenliği ve yıkama kaybı arasında güçlü bir korelasyon olduğu ve bu faktörlerin birleşik etkisinin su altı betonunun basınç dayanımındaki düşüşte önemli bir rol oynadığı belirtilmiştir. Testler, Darcy yasasının su altı betonundaki su geçirgenliğini değerlendirmek için geçerli olduğu ve su geçirgenliğinin arttığı durumlarda, yıkama kaybı sonrası basınç dayanımında belirgin bir düşüş gözlemlendiği doğrulanmıştır. Ayrıca, su altı betonunun dayanım kaybının, agrega konsantrasyonundaki ve su-çimento oranındaki değişikliklerle ilişkili olduğu ifade edilmiştir.

Heniegal vd., (2015), tarafından gerçekleştirilen çalışma, basınçlı su altı betonunun su erozyonuna ve ayrışmaya karşı direncini artırmak amacıyla yıkanma önleyici katkıların etkisini incelemiştir. Bu çalışmada, farklı çimento içerikleri (400, 450, 500 ve 550 kg/m<sup>3</sup>) ve yıkanma önleyici katkı dozajları (%0,0, %0,2, %0,3, %0,4 ve %0,5) kullanılarak hazırlanan beton karışımları, çökme, çökme akışı, basınç dayanımı ve yıkanma direnci açısından değerlendirilmiştir. Deneysel süreçte, Kuzey Amerika'da yaygın olarak kullanılan CRDC61 dalma testi ile su basıncının basınçlı su altı beton karışımının yıkanma direnci üzerindeki etkisi simüle edilmiş ve basınçlı hava tüpü yöntemi kullanılmıştır. Sonuçlar, yıkanma önleyici katkı dozajının artmasıyla betonun yıkanma direncinin arttığını ve ağırlık kaybının azaldığını göstermektedir. Özellikle yıkanma önleyici katkı oranının %0,3-0,5 seviyelerine çıkarılması, Japon İnşaat Mühendisleri Derneği standartlarına uygun bağıl basınç dayanımı sağlamıştır. Ayrıca, yıkanma önleyici katkı dozajının artmasıyla birlikte pH seviyesinde bir azalma gözlemlenmiş ve çimento ağırlığına göre değişen yıkanma önleyici katkı oranları (%0,0-%0,5), bağıl basınç dayanımında artış sağlarken ağırlık kaybının sırasıyla %36'dan %103'e yükseldiği belirlenmiştir. Bu çalışma, basınçlı su altı betonunun dayanım ve dayanıklılığını artırmada yıkanma önleyici katkı kullanımının etkin bir yöntem olduğunu ortaya koymaktadır.

Grzeszczyk vd., (2019), tarafından gerçekleştirilen çalışma, silikon dioksit nanopartiküllerinin su altı betonunun yıkanmaya karşı direnci üzerindeki etkisini incelemiştir. Araştırmada, yıkanma önleyici katkının kimyasal yapısı kızılötesi spektroskopisi ve termogravimetrik analiz yöntemleriyle belirlenmiş ve yıkanma

önleyici katkının beton karışımındaki davranışı değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, silikon dioksit nanopartiküllerinin yıkanmayı azaltmada önemli bir rol oynadığını ve bunun, yıkanma önleyici katkının kimyasal yapısı ile etkileşime girerek polimer kafes gelişimini teşvik etmesinden kaynaklandığını göstermiştir. Çalışma, nanopartiküllerin ve yıkanma önleyici katkının dozajlama yönteminin yıkanmayı etkilediğini ortaya koymuş ve en yüksek etkinliğin, yıkanma önleyici katkı ile birlikte karışım suyuna eklenen nanopartiküllerle sağlandığını belirlemiştir. Ayrıca, silikon dioksit nanopartiküllerinin kütlece %0,5 oranında eklenmesinin sertleşmiş betonun fiziksel özellikleri ve dayanımı üzerinde belirgin bir etkisi olmadığı sonucuna varılmıştır. Bu çalışma, nanopartiküllerin ve yıkanma önleyici katkının birleşik kullanımının su altı betonunun yıkanmaya karşı direncini artırmada etkili bir strateji sunduğunu ortaya koymaktadır.

Sikandar vd., (2020), tarafından gerçekleştirilen çalışmada, dağılmayan su altı betonunun üretiminde kullanılan çeşitli yıkanma önleyici katkıların etkinliği incelenmiştir. Araştırma, doğal, yarı sentetik ve sentetik polimerler olarak sınıflandırılan üç farklı yıkanma önleyici katkıyı kullanarak dağılmayan su altı betonunun karışımlarının reolojik davranışını, mekanik performansını, yıkanmaya karşı direncini ve fiziksel özelliklerini değerlendirmiştir. Çalışmanın bulguları, Arap zıncı, Ksantan zıncı ve süper emici polimerin, dağılmayan su altı betonunun üretimi için en uygun yıkanma önleyici katkıları olduğunu ortaya koymuş ve bu katkıların daha yüksek basınç dayanımı, yıkama direnci ve düşük büzülme ile birlikte betonun plastik viskozitesini artırdığı tespit edilmiştir. Ayrıca, X-ışını kırınımı, taramalı elektron mikroskobu, enerji dağılımlı X-ışını spektrumu ve Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi analizleri, bu katkılarla üretilen beton karışımlarında daha fazla hidrasyon ürünü oluştuğunu doğrulamıştır. Çalışma, yıkanma önleyici katkıların, dağılmayan su altı betonunun karışımlarındaki stabiliteyi ve yapışkanlığı artırma potansiyelini vurgulamaktadır.

Wang, Gu ve Zhao (2021), tarafından yapılan çalışmada, dağılmayan su altı betonunun basınç dayanımını artırmak amacıyla farklı nanomalzemeler, katkı maddeleri ve liflerin etkileri incelenmiştir. Araştırma, nano-silisyum dioksit ve nanometakaolin gibi nanomalzemelerin dağılmayan su altı betonunun basınç dayanımını önemli ölçüde artırdığını göstermektedir. Yapılan deneyler, nano-silisyum

dioksit içeren dağılmayan su altı betonunun 3 gün sonunda %33,5, 28 gün sonunda ise %52,1 oranında basınç dayanımı artışı sağladığını, benzer şekilde, nanometakaolin içeren betonun dayanımının ise 3 gün sonunda %26,4, 28 gün sonunda ise %32,6 oranında arttığını ortaya koymuştur. X-ışını kırınımı, cıva intrüzyon porozimetrisi ve taramalı elektron mikroskobu analizleri, nano-silisyum dioksit ve nanometakaolinin dağılmayan su altı betonunun içyapısındaki gözenekleri doldurduğunu ve puzolanik bir etki başlatarak yoğunluğunu artırdığını göstermiştir. Bu bulgular, nanomalzemelerin betonun dayanıklılığını artırarak deniz suyu gibi zorlu çevre koşullarına karşı direnç gösterdiğini ve pratik uygulamalar için potansiyel taşıdığını ortaya koymaktadır.

Nasr vd., (2022), tarafından gerçekleştirilen çalışmada, "kendinden korumalı su altı betonu" olarak adlandırılan yeni bir su altı betonunun basınç dayanımı incelenmiştir. Basınç dayanımı, hidrolik ve deniz yapılarının performansı açısından kritik bir özellik olup, özellikle yıkanma oranından etkilenmektedir. Bu çalışmada, kendinden korumalı su altı betonunun basınç dayanımını belirlemek amacıyla, yıkanma kaybı testlerinde kullanılan beton karışımları ile deneyler yapılmıştır. Kendinden korumalı su altı betonu, geleneksel su altı betonlarından farklı olarak, su altı koruyucu maddeler ve su özelliklerinin değiştirilmesine dayanan bir konsept üzerine inşa edilmiştir. Bu yenilikçi yaklaşım sayesinde, su ortamı kütle kaybı olmadan taze, kendiliğinden yerleşen beton almak için uygun hale gelmektedir. Yapılan basınç dayanımı testlerinde, hava numunesine ek olarak tatlı su ve deniz suyu numuneleri kullanılmış ve test sonuçları, deniz suyu için bağıl basınç dayanımının %90, tatlı su için ise %88,48 olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, optimum çökme akışının 650 milimetreyi aşmaması gerektiği belirlenmiştir. Çalışma, kendinden korumalı su altı betonunun, yüksek su altı koruyucu madde oranlarında yıkanma direncini artırarak üstün basınç dayanımı sağladığını ve geleneksel su altı betonlarına kıyasla yüksek performans sergilediğini vurgulamaktadır. Bununla birlikte, su hızı etkisi, su altı doldurma kabiliyeti ve onarım çalışmaları gibi farklı mühendislik disiplinlerinde daha fazla araştırma yapılması gerektiği belirtilmiştir.

Zaidi vd., (2022), tarafından yapılan çalışmada, alkali aktivatör oranlarının sualtı betonlamasında kullanılan geopolimer betonlar üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışma, sodyum hidroksit ve sodyum silikat çözeltileri kullanılarak aktive edilen

uçuca kül ve kaolinden sentezlenen geopolimer betonların mühendislik özelliklerini değerlendirmiştir. Taze beton, tremie yöntemiyle deniz suyunda kalıplanmış ve 7 ile 28 günlük mühendislik testleri gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, 2,5 alkali aktivatör oranında en iyi performansı gösteren geopolimerin, kontrol geopolimerinin mekanik özelliklerini aştığını ortaya koymuştur. Ancak, sualtı geopolimeri, kontrol geopolimerinin %70 mukavemetini koruyarak, sualtı betonlama malzemesi olarak kullanılmaya uygun bulunmuştur. Ayrıca, sualtı geopolimerinin faz analizleri, kalsit fazının çözünmesi ve çökmesiyle ilgili bulgular sunarak, ürünün mekanik özelliklerindeki düşüşü açıklamaktadır. Çalışma, geopolimerlerin sualtı betonlama uygulamalarında kullanılabilirliğini vurgulamaktadır.

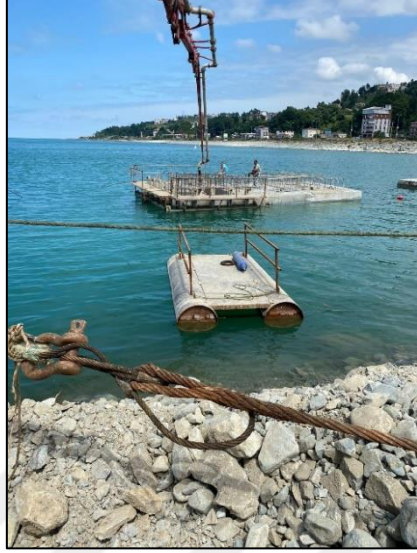
Jeon vd., (2022), tarafından gerçekleştirilen çalışmada, nano-silika ve reaktif magnezyum oksit (MgO) içeren su altı betonunun mekanik, mikroyapısal ve dayanıklılık özellikleri incelenmiştir. Araştırma, nano-silika ve MgO partiküllerinin betonun basınç dayanımını artırma, karbonatlaşma ve klorür penetrasyonuna karşı direnç sağlama ile mikroyapıyı iyileştirme üzerindeki etkilerini ele almıştır. Elde edilen sonuçlar, özellikle %5 oranında nano-silika ve MgO ilavesinin betonun mekanik özelliklerini iyileştirerek, mikro yapısını yoğunlaştırarak dayanıklılığını artırdığını ortaya koymuştur. Bununla birlikte, %10 MgO ilavesi betonun performansını düşürmüştür, ancak nano-silika eklemesi bu olumsuz etkileri dengelemiştir. Bu bulgular, nano-silika ve MgO içeren beton karışımlarının su altı inşaat uygulamalarında daha yüksek performans sağlayabileceğini göstermektedir.

Horszczaruk ve Brzozowski (2023), tarafından yapılan çalışmada, hidrostatik basınç altında kürlenmiş sualtı onarım betonlarının aşınma direnci ve mekanik dayanımı incelenmiştir. Araştırma, özel bir kaptaki betonun yerleştirilmesi ve kürlenmesi sırasında etkili olan hidrostatik basıncın betonun basınç dayanımına ve aşınma direncine olan etkilerini test etmektedir. İki beton bileşiminin kullanıldığı bu çalışmada, maksimum hidrostatik basınç 0,5 MPa olarak belirlenmiş ve bu basınç altında kürlenmiş beton numunelerinin dayanımı ile aşınma direnci değerlendirilmiştir. Sonuçlar, hidrostatik basıncın sualtı betonunun basınç dayanımını olumsuz etkilemediğini, hatta bazı durumlarda hafif bir artışa neden olduğunu göstermiştir. Ayrıca, aşınma direnci ile basınç dayanımı arasında doğrudan bir ilişki bulunamamış ancak hidrostatik basıncın betonun üst katmanlarındaki olumlu etkisi

gözlemlenmiştir. Bu bulgular, sualtı onarım betonlarının performansını iyileştirmek için hidrostatik basınç koşullarının dikkate alınmasının önemini vurgulamaktadır.

Alsaffar vd., (2024), tarafından gerçekleştirilen çalışmada, reaktif toz su altı betonunun (RPUWC) fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine yapılan deneysel ve istatistiksel bir inceleme sunulmuştur. Araştırma, yıkama önleyici katkı (AWA), mikro çelik lifler (MSF) ve silis dumanı (C) içeren farklı beton karışımlarının çökme akışı, yığın yoğunluğu, basınç dayanımı ve eğilme dayanımı gibi özellikler üzerindeki etkilerini incelemeyi amaçlamıştır. Elde edilen sonuçlar, en uygun karışımın %0,5 AWA, %1,5 MSF ve %15 silis dumanı içeren karışım olduğunu göstermiştir. Bu karışım, betonun mekanik özelliklerini iyileştirerek, özellikle su altı inşaat uygulamalarındaki kullanılabilirliğini artırmaktadır. Çalışma, karışım optimizasyonu için Minitab 19 yazılımını kullanarak, su altı inşaat uygulamalarında gerekli özelliklere sahip ideal RPUWC karışımını tasarlamıştır.

### 3. YAPILAN ÇALIŞMALAR



Şekil 4. Su altı betonu dökümü

Şekil 4’te Rize ili deniz kenarı yürüyüş ve kenar koruması inşası için su altı betonu dökümü görülmektedir. Şekil 4’teki su yapısının inşası sırasında Karadeniz suyuna beton dökümü sırasında betonlar Karadeniz tuzlu suyuna ve dalga hareketlerine maruz kalmaktadır.



Şekil 5. Rize deniz kenarı su altı betonuyla inşa edilmiş kenar yapısı

Şekil 5’de görülen deniz kenarında betondan inşa edilmiş yapıda kullanılan su altı betonunun laboratuvarında tasarlanan beton sınıfıyla denizde derede ve karada beton dayanım sınıfının nasıl etkilendiği bu çalışmada araştırılmıştır.

### 3.1. Kullanılan Malzemeler

#### 3.1.1. Çimento

Su altı betonlarında CEM I 42.5R SR 5 sülfata dayanıklı çimento kullanılmıştır. Aşkale çimento fabrikası bu çimentoyu üretmektedir. TS EN 197-1 standardında Sülfata Dayanıklı Portland Çimentoları sülfat direncini gösteren SR sembolü ile isimlendirilen çimentodaki C<sub>3</sub>A içeriği sınırlandırılmış çimentolardır. Bu çalışmada SR 5 yani C<sub>3</sub>A içeriği %5’in altında olan çimentolar kullanılmıştır. CEM I 42,5R SR 5 deniz suyu ve sülfatlı ortamlar için tavsiye edilen çimento tipidir (Url-1). Çimentoya ait kimyasal bileşimi, kimyasal ve fiziksel özellikleri tablo 3’te görülmektedir.

**Tablo 3.** Çalışmada kullanılan CEM I 42.5R SR 5 çimentosunun özellikleri

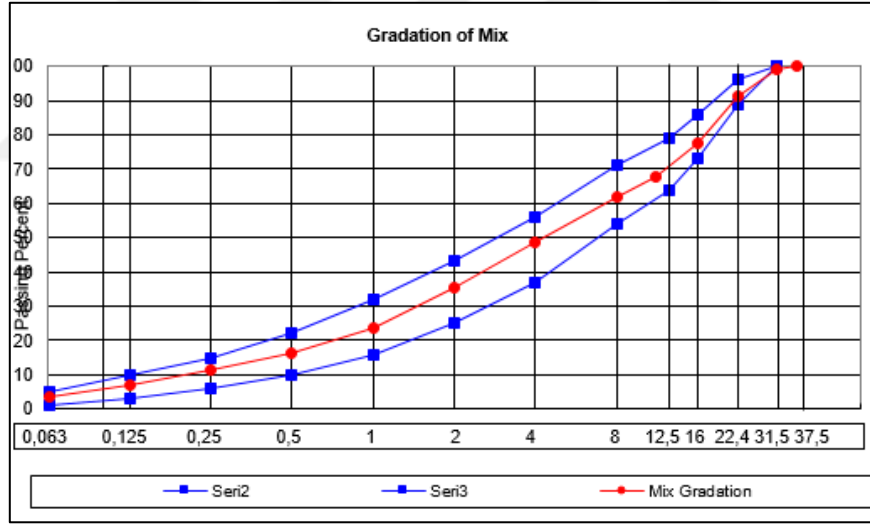
Kimyasal Bileşimi (%)		Fiziksel ve Kimyasal Özellikler	
CaO	62,13	32 µ elekte kalan (%)	7,5
Si <sub>2</sub> O	18,44	90 µ elekte kalan (%)	0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,22	Özgül yüzey cm <sup>2</sup> /g (Blaine)	3973
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,42	Özgün ağırlık	3,08
MgO	1,44	Priz süresi (dk)	Başlangıç 190 Bitiş 255
SO <sub>3</sub>	2,98	Standart kıvam su ihtiyacı (%)	26,9
Na <sub>2</sub> O	0,21	Hacim sabitliği Le Chatelier (mm)	1
K <sub>2</sub> O	0,97	Klinker C <sub>3</sub> A (%)	3,69
Cl <sup>-</sup>	0,0120	Çözünmeyen kalıntı	0,49
		Kızdırma kaybı (%)	4,60

#### 3.1.2. Agregası

Agregası Rize ili İkizdere ilçesi Cevizlik Taşocağından temin edilen, bazalt kayasından üretilmiştir. Tablo 4’te beton tasarımında kullanılan dört grup agregaların eleklerden geçen yüzdeleri, beton karışımına katılan oranları ve su emme yüzdeleri görülmektedir.

**Tablo 4.** Betonda kullanılan agregalar ve beton karışıma giren yüzde ve su emme yüzdeleri

Agrega Tipi	0/5 mm Kırma Kum	5/12 Kırma Taş	12/22,4 Kırma Taş	22,4/37,5 mm Kırma Taş
Elek Ebadı (mm)	% Geçen			
37,5				100
31,5			100	92,3
22,4			86,5	54,3
16		100	47,5	6,1
11,2		97,6	6,3	
8	100	71,3	1,1	
4	96,4	8,7		
2	71,3	1,3		
1	48,6			
0,5	32,7			
0,250	23,6			
0,125	14,3			
0,063	7,6			
Karışım Oranları (%)	49	18	20	13
Su Emme (%)	1,98	1,05	1,03	0,86



**Şekil 6.** Su altı betonu karışım agregasının granülometri eğrisi

Şekil 6'da TS 802 pompalı betonlar için  $D_{max}=31,5$  mm agregaya için elek yüzde geçen değerleri ve karışım agregasının geçen yüzdelere göre oluşturulan granülometri eğrisi görülmektedir. TS 802'ye göre 31,5 mm maksimum tane boyutuna sahip agreganın %100'nün 45 mm göz açıklığından geçmesi gerekmektedir. Bu çalışmada su altı betonlarında kullanılan agreganın %100'ü 37,5 mm göz açıklığına sahip elekten geçmektedir.

### 3.1.3. Kimyasal Katkı

Beton tasarımında CHRYSO DELTA yeni nesil poli karboksilat esaslı akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Kimyasal katkının optimum kullanım oranı şantiyede çimento ile birlikte yapılan ön üretimler sonucu çimento kütlesinin %0,8 oranında hesaplanmış ve bu oranda beton tasarımında kullanılmıştır. Beton tasarımında kullanılan kimyasal katkı yüksek oranda su azaltması yanında erken dayanım kazandırma özelliğine sahiptir. Kullanılan kimyasal katkı beton ayrışmasını engelleyen ve erken dayanım kazandırma özelliklerinden dolayı sualtı betonlarında kullanılmıştır.

### 3.1.4. Kullanılan Malzemeler, Özgül Ağırlıkları ve Oranları

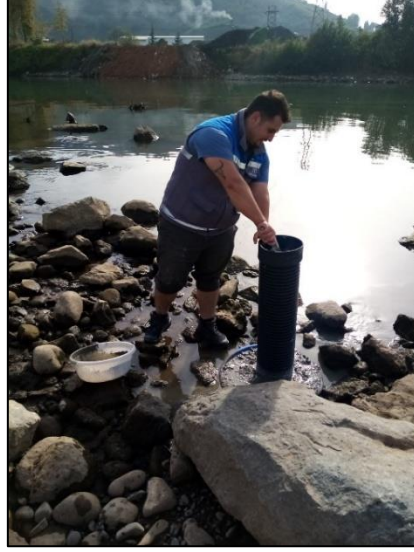
**Tablo 5.** Su altı betonlarında kullanılan malzeme ve miktarları

Malzemeler	Kütle (kg)	Özgül Ağırlık	Hacim (dm <sup>3</sup> )
Çimento	340	3,08	110,4
Su	153	1	153
Hava			15
Kimyasal Katkı	2,72	1,1	2,5
0/5 Agregası	940	2,682	352,4
5/12 Agregası	348	2,667	129,4
12/25	388	2,691	143,8
22,4/38	253	2,704	93,5
Toplam	2424,4		1000

Tablo 5’te bu çalışmada su altı betonlarında kullanılan betonların malzemeleri ve miktarları görülmektedir. Su altı betonları su/çimento oranı 0,45 ve çökmeleri 210 mm olarak dizayn edildi.

### 3.1.5. Su Altı Beton Dökümü

Bu çalışma kapsamında üretilen sualtı betonları tremi borusu yöntemini model alınarak Karadeniz kıyısında deniz içinde, İyidere ırmağında, deniz kıyısında dışarıda ve laboratuvarında kür havuzu içinde döküldüler.



**Şekil 7.** Beton dökümü

Şekil 7’de görülen sistemde sualtı betonları dökülmüştür. Kalıp deniz ya da ırmağa yerleştirilip borudan sualtı betonları dökülmüştür. Dört farklı ortam için üçer adet olmak üzere 12 adet beton dökülmüştür.



**Şekil 8.** Karot numune alınmış su altı betonu

Şekil 8’de denizdeki ve ırmaktaki su altı betonları dışarı çıkarılıp karot numunesi alındıktan sonra tekrar su içerisindeki yerine koyulmuştur. 7 günlük ve 28 günlük karot numuneleri boy/çap oranı 1/1 olacak şekilde hazırlanıp TS EN 12393’e göre dayanımları ölçülmüştür.



**Şekil 9.** Karot dayanımı ölçümü için başlıklama için hazırlanmış karot numuneler

Şekil 9’da deniz suyunda, dere suyunda ve havada bekleyen betonlardan alınan karotlar görülmektedir. Boy/çap oranı 1/1 olarak kesilen karotlar kükürt grafit karışımı ile başlıklandıktan sonra basınç dayanımları ölçülmüştür. Karotların boy/çapı 100 mm/100 mm’dir.

#### 2.1.6. Yer ve İklim Şartları



**Şekil 10.** Beton dökümleri uydu görüntülü lokasyonları

Beton dökümleri Rize ili İyidere ilçesi lojistik merkezi inşaatı sahasında İyidere Irmağının Karadeniz’le birleşim yerinde yapılmıştır. Şekil 10’da kırmızı ile işaretlenen alanlarda numuneler bekletilmiştir. Betonlar 2024 yılının Ağustos ayında dökülmüştür.



#### 4. BULGULAR

**Tablo 6.** Su altı betonları karot numune dayanımları

<b>Numune İsmi</b>	<b>7. Gün Dayanımı (MPa)</b>	<b>28. Gün Dayanımı (MPa)</b>
Deniz-1	31,20	37,80
Deniz-2	32,42	43,49
Deniz Ort. Dayanım	31,81	40,645
Dere-1	31,92	40,53
Dere-2	32,71	40,55
Dere Ort. Dayanım	32,315	40,54
Kara-1	28,98	38,34
Kara-2	29,83	38,15
Kara Ort. Dayanım	29,405	38,245

Tablo 6’da denizde, dere ve karada dökülen betonlardan alınan boy/çap oranı 1/1 (100 mm/100 mm) karot numunelerin basınç dayanımları görülmektedir. Karada bekletilen numuneler beton dökümünden sonraki iki gün sulanmışlardır.

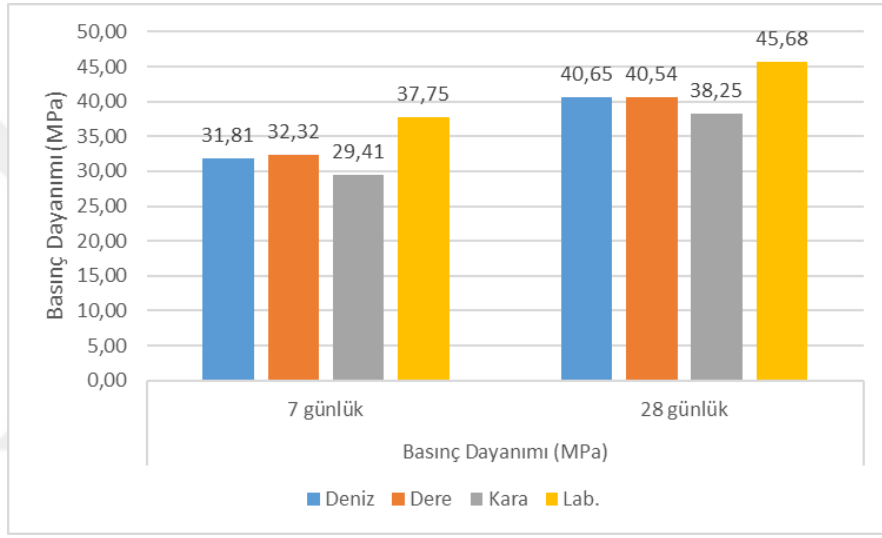
**Tablo 7.** 150.150.150 mm kür havuzunda bekletilen numunelerin basınç dayanımı (MPa)

<b>Numune No</b>	<b>3. Gün Dayanımı</b>	<b>7. Gün Dayanımı</b>	<b>28. Gün Dayanımı</b>
1	26,43	37,12	46,26
2	25,96	37,00	44,62
3	28,74	39,06	45,95
4	26,91	38,01	45,44
5	26,35	37,50	45,79
6	27,04	37,82	46,01
Ort. Dayanım	26,91	37,75	45,68

Tablo 7’deki değerler 3. 7. ve 28. günlük 150x150x150 mm ebatlı küp numunelerden elde edilen basınç dayanımlarıdır. Numuneler kirece doygun suda 20±2°C de laboratuvarında kür havuzunda bekletilmiştir.

## 5. TARTIŞMA

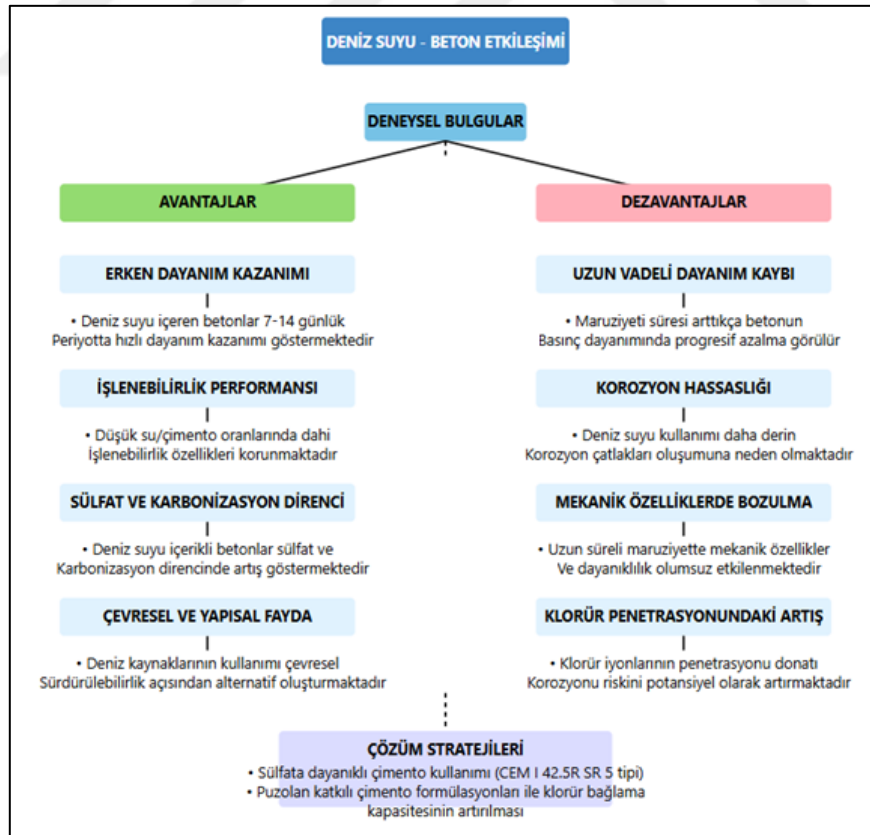
Bu çalışmada deniz ortamında ve ırmakta dökülen betonların dayanım gelişimleri nasıl etkileneceği tespit edilmeye çalışıldı. Özellikle denizin kıyısında dalga hareketlerinin olduğu ve ırmakta dere akıntısının olduğu kalıp görmeyip direkt denizin ve ırmağın etkisindeki betonların dayanım değişimlerinin nasıl olacağı tespit edildi. Doğal ortamda tuzlu ve tatlı suyun su hareketleri birlikte tasarlanan beton sınıfından daha düşük beton sınıfına yol açıp açmayacağı çalışıldı.



**Şekil 11.** Deniz, ırmak, kara ve laboratuvarında bekletilen numunelerin basınç dayanımları

Şekil 12’de deniz, dere ve kara ile isimlendirilen beton numuneleri boy/çap oranı 100/100 mm’lik numunelerden elde edilen karot numunelerdir. Deniz ve ırmakta bekletilen numunelerden karot makinesiyle alınan numunelerin basınç dayanımları karada hava ortamında bekletilen ve üç gün sabah ve akşam sulanarak bekletilen numunelerden yüksek olduğu görülmektedir. Şekil 5’te denizde ve dereye bekletilen betonların basınç dayanımları birbirine çok yakınken, karada bekletilen betonların 28 günlük basınç dayanımları denizde bekleyen betonların 28 günlük basınç dayanımından %6,27, dereye bekletilen numunelerin 28 günlük basınç dayanımlarından %5,99 oranında daha düşük oldukları görülmektedir. Karadeniz suyu ile İyidere ırmak suyu su altı betonlarının basınç dayanımlarının gelişiminde

aynı düzeyde etkili oldu Şekil 5’te görülmektedir. Su altı betonlarının 7 ve 28 günlük karot beton dayanım değerleri birbirine oldukça yakın değerlerde olduğu tespit edilmiştir. TS EN 13791’e göre kür havuzunda bekletilen betonlar ile saha betonları arasında 0,85 oranında bir dayanım farkının olduğu belirtilmektedir (TS EN 13791, 2019). Şekil 5’te 7 günlük kür havuzundaki 150mm’lik küp beton numunelerden elde edilen basınç dayanımı  $37,75 \times 0,85 = 32,08$  MPa olduğu ve bu değer denizde 31,81 MPa ile deredeki 32,32 MPa değerine oldukça yakın değerler olduğu, karada bekletilen betonların basınç dayanımının ise kür havuzunda bekletilen numunelerin karot dayanımlarından daha düşük olduğu tespit edilmiştir. 28 günlük numunelerde ise  $45,68 \times 0,85 = 38,828$  değeri elde edildiği bu değer havada bekletilen numunelerin karot dayanımlarına oldukça yakın deniz ve derede bekleyen numunelerin karot dayanımlarından düşük olduğu görülmektedir. Bu durum deniz ve derede bekleyen betonların basınç dayanım gelişimlerinin karada ıslatılarak kür uygulanan betonlardan daha iyi olduğunu göstermektedir.



Şekil 12. Deneysel Avantaj ve Dezavantaj Kıyas Tablosu

Kumar (2000) çalışmasında, Tip I, Tip II ve Tip V çimentoları ile üretilen saf ve karışım çimentosu betonlarının dayanımına su kalitesinin etkisi incelenmiştir. Çalışmada, deniz suyuna maruz kalan betonlarda basınç dayanımının azaldığı ve maruziyet süresi arttıkça dayanım kayıplarının yükseldiği belirtilmiştir. Kumar'ın bulguları, yapılan araştırma ile paralellik göstermektedir. Özellikle Tip I çimentonun, klorür bağlama kapasitesinin yüksek olduğu ve puzolan katkılarıyla modifiye edilerek deniz ortamlarında başarılı sonuçlar verdiği vurgulanmıştır. Benzer şekilde, bu çalışmada da su altı betonlarında katkılı çimento sınıfında olan CEM I 42,5R SR 5 sülfata dayanıklı çimento kullanılmış ve elde edilen sonuçların katkı içeren çimentoların deniz ortamlarında yüksek performans gösterdiği gözlemlenmiştir. Her iki çalışmada da deniz ortamlarında ön dökümün olumlu etkileri gözlemlenmiştir. Genel olarak, yüksek C<sub>3</sub>A içeriğine sahip Tip I çimentolarının uygun puzolanlarla birleşiminin deniz yapıları için potansiyel olarak faydalı bir seçenek sunduğu sonucuna varılmaktadır.

Cui ve arkadaşları (2022), çalışmalarında deniz atıkları ve deniz kaynaklarının beton üretiminde, geleneksel tatlı su ve nehir kumu gibi malzemelere alternatif olarak kullanılabileceğini ifade etmiştir. Çalışmada, deniz suyu ve tuzlu su kullanılarak üretilen betonların, 7 günlük ve 28 günlük dayanım değerlerinin, bu malzemelerin eklenmesinin neden olduğu artan tuzluluğa rağmen betonun makro ve mikro özellikleri üzerinde olumsuz bir etkisi olmadığı vurgulanmıştır. Özellikle, deniz suyu ve tuzlu su içerikli beton karışımlarının, düşük su/çimento oranlarında dahi işlenebilirliklerini koruyarak yüksek performans sergilediği belirtilmiştir. Ayrıca, bu tür beton karışımlarının makro yapısındaki etkiler, gözenek yapısındaki değişiklikler ve sülfat ile karbonizasyon direncindeki artışlarla kendini göstermektedir. Deniz suyu ve tuzlu su içeren betonlar, normal betonlara kıyasla daha iyi sülfat ve karbonizasyon direncine sahip olarak bulunmuştur. Cui vd., (2022) bulguları, deniz suyu ve tuzlu su kullanımıyla üretilen betonların çevresel ve yapısal açıdan faydalı olabileceğini ortaya koymakta olup, yapılan çalışmada da tatlı su ve tuzlu suyla üretilen betonların 7. ve 28. gün dayanımlarının önemli ölçüde etkilenmediği açısından paralellik gösterdiği gözlemlenmiştir.

Mohammed vd., (2004) tarafından gerçekleştirilen araştırma, deniz suyu karışımı betonların, musluk suyu karışımı betona göre daha hızlı dayanım kazandığını ortaya koymuştur. Ancak uzun süreli maruziyet sonrasında, her iki beton türü arasındaki basınç dayanımında anlamlı bir fark gözlemlenmemiştir. Bu bulgu, mevcut çalışmanın sonuçlarıyla örtüşmekte olup, her iki araştırma da deniz suyu ile üretilen betonların erken dayanım avantajı sağladığını, ancak zamanla bu farkın azaldığını göstermektedir. Ayrıca, deniz suyu kullanımının betonun korozyon davranışını etkileyerek, musluk suyuna kıyasla daha derin korozyon çukurlarına yol açtığı tespit edilmiştir. Bu bağlamda, katkı çimentoların su altı betonlarında kullanımı önem kazanmaktadır. Sonuç olarak, deniz suyu ile üretilen betonların, musluk suyuna göre daha yüksek korozyon riski taşıdığı ve uzun süreli maruziyetlerde mekanik özelliklerinin ve dayanıklılığının olumsuz şekilde etkilendiği anlaşılmaktadır.

Wegian, (2010) tarafından yapılan çalışmada, deniz suyunda karıştırılarak kürlenmiş betonların erken yaşlardaki (7 ve 14 gün) basınç ve çekme dayanımlarının, tatlı suda hazırlanan ve kürlenmiş betonlara kıyasla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Benzer şekilde, bu çalışmada da su altı betonlarının üretimi için CEM I 42,5R SR 5 tipi sülfata dayanıklı çimento kullanılmış ve elde edilen 7 günlük basınç dayanımlarının, tatlı suda hazırlanan ve kürlenmiş betonlara kıyasla daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu bulgular, farklı çalışmalar arasında önemli bir uyum olduğunu göstermekte ve sülfata dayanıklı çimento kullanımının, su altı betonlarının mekanik performansını artırdığı yönündeki literatür bulgularını desteklemektedir. Dolayısıyla hem mevcut çalışma hem de Wegian, (2010) tarafından yapılan araştırma, deniz suyu ve benzeri agresif çevresel koşullarda kürlenmiş betonların dayanım açısından avantaj sağladığını ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, çimento içeriğinin artırılması ve sülfata dirençli çimento içeren bağlayıcıların tercih edilmesi, betonun deniz suyu ve tuzlu çözeltilere karşı performansını güçlendiren önemli stratejiler arasında yer aldığı söylenilebilir.

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 6.1. Sonuçlar

Bu çalışmada, su altı betonlarının basınç dayanım gelişimi üzerinde deniz dalgalarının ve dere suyu akıntısının etkileri araştırılmıştır. Karadeniz kıyısında ve İyidere çayında dökülen su altı betonlarının dayanım performansları, aynı bölgede karada dökülen betonlarla karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Araştırma kapsamında, deniz suyu ve tatlı suya maruz kalan betonların basınç dayanım değişimleri incelenmiş, bu doğrultuda Karadeniz İyidere mevkiinde deniz ortamında, İyidere çayında akarsu akıntısına maruz şekilde, suya maruz kalmayan dış ortam koşullarında ve laboratuvar kür ortamında olmak üzere dört farklı deneysel koşulda beton numuneleri üretilmiştir. Bu betonlardan alınan 7 ve 28 günlük karot numuneleri üzerinde yapılan dayanım testleri ile su altı betonlarının farklı çevresel etkilere karşı gösterdiği mekanik performans belirlenmiştir. Yapılan çalışmada gözlemlenen önemli sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

- Çalışmada üretilen su altı betonlarının dayanım gelişimleri incelenmiş ve deniz, dere ve kara ortamlarında farklı dayanım seviyeleri elde edilmiştir. Özellikle deniz ve dere ortamında bekletilen betonların basınç dayanımlarının birbirine oldukça yakın olduğu belirlenmiştir.
- Karada bekletilen beton numunelerinin 28 günlük basınç dayanımları, denizde bekletilen betonlardan %6,27, derede bekletilen betonlardan %5,99 oranında daha düşük bulunmuştur. Bu durum, su altı betonlarının basınç dayanımının doğal ortam koşullarına bağlı olarak değiştiğini göstermektedir.
- Deniz ve dere ortamlarında bekletilen betonların basınç dayanımları laboratuvar koşullarında kür havuzunda bekletilen numunelerle karşılaştırılmış, saha betonlarının basınç dayanımlarının TS EN 13791 standardına göre yaklaşık %15 oranında daha düşük olduğu tespit edilmiştir.
- Kullanılan CEM I 42,5R SR 5 sülfata dayanıklı çimento ile tasarlanan su altı betonlarının dayanım gelişimi olumlu sonuçlar vermiş, su hareketlerinin etkisine rağmen beton dayanımında belirgin bir düşüş gözlemlenmemiştir.

- Sualtı betonlarının dökümünde kullanılan tremi borusu yöntemi, su altı ortamlarında homojen bir beton yerleşimi sağlamış, ayrışmayı engellemiş ve erken dayanım kazanımına katkıda bulunmuştur.
- Deniz ve dere ortamlarında suyun hareketli yapısının, betonların erken ve uzun vadeli basınç dayanımları üzerinde önemli bir etkisi olduğu belirlenmiş, özellikle kalıp görmeyen ve doğrudan su akıntısına maruz kalan betonların dayanımlarının düşebileceği ortaya konulmuştur.
- Çalışmada elde edilen veriler, su altı betonlarının tasarımında ve uygulamalarında çevresel etkilerin dikkate alınması gerektiğini göstermiş, özellikle dalga hareketleri ve su akıntısının beton dayanımı üzerindeki etkisinin belirleyici olduğu sonucuna varılmıştır.

## **6.2. Öneriler**

- Farklı bileşimler ve katkı maddeleri ile üretilen sualtı betonları üzerinde yapılan laboratuvar testleri, betonun kısa ve uzun vadeli performansını öngörmeye yardımcı olabileceği gibi, daha geniş kapsamlı testler de sualtı betonunun dayanıklılığına dair daha güvenilir ve ayrıntılı bulguların elde edilmesini sağlayabilir.
- Su altı betonlarının uzun vadeli basınç dayanımının artırılması, betonun su altındaki çevresel şartlara uyumunun iyileştirilmesiyle mümkün olup, bu tür betonların geliştirilmesi ve kullanım alanlarının genişletilmesi amacıyla su altı ortamındaki fiziksel ve kimyasal etkileşimlerin beton üzerindeki etkilerinin daha iyi anlaşılması önemli olmakta, bu bağlamda betonun su altı koşullarına daha etkin bir şekilde uyum sağlayabilmesi için yeni tür çimento, agrega ve atık malzeme kullanımları su altı beton üretiminde değerlendirilebilir.
- Su altı betonlarının dayanıklılığını artırmak amacıyla, özellikle deniz suyu gibi agresif ortamlarda sülfata dayanıklı çimentoların farklı oranlarda kullanımı optimize edilerek, bu çimentoların kimyasal reaksiyonları, mikro yapıları ve mekanik özellikleri incelenip, deniz yapılarındaki betonların ömrünü uzatmaya yönelik yeni formülasyonlar geliştirilebilir ve farklı katkı malzemeleriyle yapılan kombinasyonların deniz ortamındaki dayanıklılığa

etkisi araştırılarak, su altı betonlarının daha güvenilir ve sürdürülebilir kullanımına yönelik stratejiler oluşturulabilir.



## KAYNAKÇA

- Abdelgader, H. S., Najjar, M. F., & Azabi, T. M. (2010). Study of underwater concrete using two-stage (preplaced aggregate) concrete in Libya. *Structural Concrete*, 11(3), 161-165.
- Alsaffar, D. M., Al-Shathr, B. S., & Abed, S. K. (2024). Performance of Reactive Powder Underwater Concrete: An Experimental and Statistical Investigation of Physico-Mechanical Characteristics. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 48(4), 1977-2002.
- Assaad, J. J., & Issa, C. A. (2013). Mechanisms of strength loss in underwater concrete. *Materials and structures*, 46, 1613-1629.
- Cui, Y., Jiang, J., Fu, T., & Liu, S. (2022). Feasibility of using waste brine/seawater and sea sand for the production of concrete: An experimental investigation from mechanical properties and durability perspectives. *Sustainability*, 14(20), 13340.
- Falkner, H., & Henke, V. (1998). Application of steel fibre concrete for underwater concrete slabs. *Cement and Concrete Composites*, 20(5), 377-385.
- Feys, D., De Schutter, G., Fataei, S., Martys, N. S., & Mechtcherine, V. (2022). Pumping of concrete: Understanding a common placement method with lots of challenges. *Cement and Concrete Research*, 154, 106720.
- Gerwick, B. C. (2004). Landmark Series: Placement of Tremie Concrete. *Concrete international*, 26(1), 41-52.
- Gerwick, B. C., Holland, T. C., & Komendant, G. J. (1981). Tremie concrete for bridge piers and other massive underwater placements.
- Ghio, V. A., Monteiro, P. J., & Gjorv, O. E. (1995). Effect of polysaccharide gums on fresh concrete properties. *Materials Journal*, 91(6), 602-606.
- Grzeszczyk, S., Jurowski, K., Bosowska, K., & Grzymek, M. (2019). The role of nanoparticles in decreased washout of underwater concrete. *Construction and Building Materials*, 203, 670-678.
- Heniegal, A. M., Maaty, A. A. E. S., & Agwa, I. S. (2015). Simulation of the behavior of pressurized underwater concrete. *Alexandria Engineering Journal*, 54(2), 183-195.
- Horszczaruk, E., & Brzozowski, P. (2023). Abrasion resistance and mechanical strength of underwater repair concrete curing under hydrostatic pressure. *Construction and Building Materials*, 394, 132256.

- Horszczaruk, E., & Seul, C. (2022). Use of Fluidized Bed Combustion Fly Ash as a Partial Substitute for Cement in Underwater Concrete Mixes. *Materials*, 15(14), 4809.
- Jeon, I. K., Qudoos, A., Woo, B. H., Yoo, D. H., & Kim, H. G. (2022). Effects of nano-silica and reactive magnesia on the microstructure and durability performance of underwater concrete. *Powder Technology*, 398, 116976.
- Kawai, T., "Non-Dispersible Underwater Concrete Using Polymers," Marine Concrete, International Congress on Polymers in Concrete, Ch.
- Khayat, K. H. (1995). Effects of antiwashout admixtures on fresh concrete properties. *Materials Journal*, 92(2), 164-171.
- Khayat, K. H. (1998). Viscosity-enhancing admixtures for cement-based materials—An overview. *Cement and Concrete Composites*, 20(2-3), 171-188.
- Khayat, K. H., & Sonebi, M. (2001). Effect of mixture composition on washout resistance of highly flowable underwater concrete. *Materials Journal*, 98(4), 289-295.
- Kumar, S. (2000). Influence of water quality on the strength of plain and blended cement concretes in marine environments. *Cement and Concrete Research*, 30(3), 345-350.
- Li, H., Sun, D., Wang, Z., Huang, F., Yi, Z., Yang, Z., & Zhang, Y. (2020). A review on the pumping behavior of modern concrete. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 18(6), 352-363.
- Li, L. G., & Zhang, G. H. (2024). Feasibility of underwater 3D printing: Effects of anti-washout admixtures on printability and strength of mortar. *Journal of Building Engineering*, 96, 110434.
- Lu, H., Sun, X., & Ma, H. (2022). Anti-washout concrete: an overview. *Construction and Building Materials*, 344, 128151.
- Mehta, P. K. (1980). Durability of concrete in marine environment--A review. *Special Publication*, 65, 1-20.
- Mohammed, T. U., Hamada, H., & Yamaji, T. (2004). Performance of seawater-mixed concrete in the tidal environment. *Cement and concrete research*, 34(4), 593-601.
- Moon, H. Y., & Shin, K. J. (2006). Evaluation on steel bar corrosion embedded in antiwashout underwater concrete containing mineral admixtures. *Cement and Concrete Research*, 36(3), 521-529.
- Najjar, M. F., Soliman, A. M., & Nehdi, M. L. (2014). Critical overview of two-stage concrete: Properties and applications. *Construction and Building Materials*, 62, 47-58.

- Nasr, A. A., Chen, S., Wang, Y., Jin, F., & Qiu, L. C. (2022). Strength evaluation of a new underwater concrete type. *Case Studies in Construction Materials*, 16, e00884.
- Ramachandran, V. S., *Concrete Admixtures Handbook*, Noyes Publications, Park Ridge, N.J., 1984, pp. 528-533 .
- Sikandar, M. A., Wazir, N. R., Khan, A., Nasir, H., Ahmad, W., & Alam, M. (2020). Effect of various anti-washout admixtures on the properties of non-dispersible underwater concrete. *Construction and Building Materials*, 245, 118469.
- Sonebi, M., & Khayat, K. H. (2001). Effect of mixture composition on relative strength of highly flowable underwater concrete. *Materials Journal*, 98(3), 233-239.
- Sonebi, M., Tamimi, A. K., & Bartos, P. J. M. (2000). Application of factorial models to predict the effect of anti-washout admixture, superplasticizer and cement on slump, flow time and washout resistance of underwater concrete. *Materials and Structures*, 33, 317-323.
- Song, X., Zheng, H., Xu, L., Xu, T., & Li, Q. (2024). Comparative study of the performance of underwater concrete between anionic and nonionic anti-washout admixtures. *Buildings*, 14(3), 817.
- Wang, Y., Gu, L., & Zhao, L. (2021). Beneficial influence of nanoparticles on the strengths and microstructural properties of non-dispersible underwater concrete. *KSCCE Journal of Civil Engineering*, 25(11), 4274-4284.
- Wang, Z., Lian, J., Liu, H., Liang, C., Zou, K., Chen, L., ... & Yao, Y. (2024). Review on Repair Technologies for Underwater Concrete Structure Damage of Infrastructures. *Water*, 17(1), 35.
- Warner, J. (2005). Preplaced-aggregate concrete. *Concrete International*, 27(9), 34-38.
- Wegian, F. M. (2010). Effect of seawater for mixing and curing on structural concrete. *The IES Journal Part A: Civil & Structural Engineering*, 3(4), 235-243.
- Wilkes, C., Kanavaris, F., Barker, C., & Nicholson, D. (2024). Practical Recommendations for Defect Avoidance in Deep Foundations. *ACI Materials Journal*, 121(6).
- Xiao, S., Zhang, M., Zou, D., Liu, T., Zhou, A., & Li, Y. (2023). Influence of seawater and sea sand on the performance of anti-washout underwater concrete: The overlooked significance of Mg<sup>2+</sup>. *Construction and Building Materials*, 374, 130932.

- Yahya, Z., Abdullah, M. M. A. B., Li, L. Y., Burduhos Nergis, D. D., Hakimi, M. A. A. Z., Sandu, A. V., ... & Razak, R. A. (2021). Behavior of alkali-activated fly ash through underwater placement. *Materials*, 14(22), 6865.
- Yao, S. X., Berner, D. E., & Gerwick, B. C. (1999). Assessment of underwater concrete technologies for in-the-wet construction of navigation structures. Vicksburg, MS: US Army Engineer Research and Development Center.
- Zaidi, F. H. A., Ahmad, R., Al Bakri Abdullah, M. M., Wan Ibrahim, W. M., Aziz, I. H., Junaidi, S., & Luhar, S. (2022). Assessment of geopolymer concrete for underwater concreting properties. *Archives of Metallurgy and Materials*, 677-684.
- Zhou, X., Bai, S., Zhang, Y., Xie, L., & Zhou, X. (2024). Designing prepacked aggregate concrete for improved mechanical properties and its field application in constructing steel tube concrete. *Scientific Reports*, 14(1), 14613.