

**T.C.  
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**ESKİ YAPI BETONLARINDAKİ DENİZ KABUKLARININ  
DAYANIMA ETKİLERİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Hatice Nur ÇAKIR**

**Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**  
**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Ferhat AYDIN**

**Eylül 2021**

**T.C.**  
**SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**ESKİ YAPI BETONLARINDAKİ DENİZ KABUKLARININ**  
**DAYANIMA ETKİLERİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Hatice Nur ÇAKIR**

**Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Bu tez 07/09/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.**

| <b>JÜRİ</b>                               | <b>BAŞARI DURUMU</b> |
|-------------------------------------------|----------------------|
| Jüri Başkanı: Prof. Dr. Kemalettin YILDIZ | Başarılı             |
| Üye: Prof. Dr. Metin İPEK                 | Başarılı             |
| Üye: Doç. Dr. Ferhat AYDIN                | Başarılı             |

## **BEYAN**

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim

Hatice Nur ÇAKIR

07/09/2021

## TEŞEKKÜR

Gerek lisans gerek yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında titizlikte beni yönlendiren, akademik hayatımın şekillenmesinde oldukça fazla emeği olan değerli danışman hocam Doç. Dr. Ferhat AYDIN'a teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar çalışmalarımnda yardımını esirgemeyen teknikerlerimiz Sami GÜRSES ve Şenol DAĞLI'ya şükranlarımı sunarım.

Ayrıca tüm eğitim hayatım boyunca maddi manevi her konuda büyük fedakarlıklarla beni okutan saygıdeğer, sevgili aileme; yüksek lisans tezim boyunca gönülden desteğini esirgemeyen hayat arkadaşıma; malzeme tedarikinde bana yardımcı olan kıymetli arkadaşlarıma gönülden teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

|                       |    |
|-----------------------|----|
| TEŞEKKÜR .....        | i  |
| İÇİNDEKİLER .....     | ii |
| KISALTMALAR .....     | iv |
| TABLolar LİSTESİ..... | v  |
| ŞEKİLLER LİSTESİ..... | vi |
| ÖZET.....             | x  |
| SUMMARY .....         | xi |

### BÖLÜM 1.

|                                 |   |
|---------------------------------|---|
| GİRİŞ .....                     | 1 |
| 1.1. Tezin Amaç ve Kapsamı..... | 6 |

### BÖLÜM 2.

|                                                     |    |
|-----------------------------------------------------|----|
| BETON DAYANIMI .....                                | 8  |
| 2.1. Beton.....                                     | 8  |
| 2.1.1. Betonu oluşturan malzemeler .....            | 10 |
| 2.1.1.1. Çimento .....                              | 10 |
| 2.1.1.2. Su .....                                   | 11 |
| 2.1.1.3. Agrega .....                               | 11 |
| 2.1.1.4. Katkı maddeleri .....                      | 14 |
| 2.2. Beton Dayanımına Etki Eden Faktörler.....      | 14 |
| 2.2.1. Çimento özelliklerinin dayanıma etkisi ..... | 15 |
| 2.2.1.1. Kızdırma kaybı.....                        | 15 |
| 2.2.1.2. Çözünmeyen kalıntı .....                   | 15 |
| 2.2.1.3. SO <sub>3</sub> miktarı .....              | 15 |
| 2.2.1.4. Hacim genleşmesi .....                     | 15 |
| 2.2.1.5. Klorür miktarı.....                        | 16 |
| 2.2.1.6. Çimentonun inceliği .....                  | 16 |
| 2.2.1.7. Çimentonun ana bileşenlerinin etkisi ..... | 16 |
| 2.2.1.8. Dozaj .....                                | 17 |
| 2.2.1.9. Çimento tipi.....                          | 17 |
| 2.2.2. Suyun dayanıma etkisi.....                   | 18 |
| 2.2.2.1. Su/çimento oranı .....                     | 18 |
| 2.2.2.2. Karma suyu kalitesi.....                   | 19 |

|                                                                                                |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.2.2.3. Temas suyu tedbirleri.....                                                            | 19        |
| 2.2.3. Karıştırma, yerleştirme, sıkıştırma işlemleri .....                                     | 20        |
| 2.2.4. Kür koşulları .....                                                                     | 20        |
| 2.2.5. Betonun kompasesi .....                                                                 | 21        |
| 2.2.6. Agregâ özelliklerinin dayanıma etkisi.....                                              | 21        |
| 2.2.6.1. Agregâ dayanımının etkisi .....                                                       | 21        |
| 2.2.6.2. Agregâ granülometrisinin etkisi.....                                                  | 22        |
| 2.2.6.3. Agregânın nem durumunun etkisi.....                                                   | 22        |
| 2.2.6.4. Maksimum tane büyüklüğünün etkisi .....                                               | 22        |
| 2.2.6.5. Agregâda zararlı madde bulunması.....                                                 | 23        |
| 2.2.7. Deniz kumu ve deniz kabuğu etkisi.....                                                  | 23        |
| 2.2.7.1. Deniz kumu etkisi .....                                                               | 23        |
| 2.2.7.2. Deniz kabuğu etkisi.....                                                              | 24        |
| <b>BÖLÜM 3.</b>                                                                                |           |
| <b>LİTERATÜR TARAMASI .....</b>                                                                | <b>25</b> |
| <b>BÖLÜM 4.</b>                                                                                |           |
| <b>MALZEME VE METOT .....</b>                                                                  | <b>40</b> |
| <b>BÖLÜM 5.</b>                                                                                |           |
| <b>DENEY SONUÇLARI.....</b>                                                                    | <b>51</b> |
| 5.1. Düşük Dayanımlı Beton Numunelere Ait Deneysel Sonuçlar .....                              | 52        |
| 5.1.1. Ultrases deneyi sonuçları.....                                                          | 54        |
| 5.1.2. Schmidt deneyi sonuçları .....                                                          | 55        |
| 5.1.3. Basınç Deneyi Sonuçları .....                                                           | 56        |
| 5.1.4. Eğilme deneyi sonuçları .....                                                           | 60        |
| 5.2. Normal Dayanımlı Beton Numunelere Ait Deneysel Sonuçlar.....                              | 65        |
| 5.2.1. Ultrases deneyi sonuçları.....                                                          | 67        |
| 5.2.2. Schmidt deneyi sonuçları .....                                                          | 68        |
| 5.2.3. Basınç deneyi sonuçları .....                                                           | 69        |
| 5.2.4. Eğilme deneyi sonuçları .....                                                           | 72        |
| 5.3. Yüksek Dayanımlı Beton Numunelere Ait Deneysel Sonuçlar.....                              | 77        |
| 5.3.1. Ultrases deneyi sonuçları.....                                                          | 79        |
| 5.3.2. Schmidt deneyi sonuçları .....                                                          | 80        |
| 5.3.3. Basınç deneyi sonuçları .....                                                           | 81        |
| 5.3.4. Eğilme deneyi .....                                                                     | 84        |
| 5.4. Farklı Dayanım Sınıflarına Ait Betonların Deneysel Sonuçlarının<br>Karşılaştırılması..... | 88        |
| <b>BÖLÜM 6.</b>                                                                                |           |
| <b>SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>                                                                  | <b>92</b> |
| <b>KAYNAKLAR .....</b>                                                                         | <b>96</b> |

## KISALTMALAR

|                |                              |
|----------------|------------------------------|
| BS             | : İngiliz Standardı          |
| C              | : Concrete                   |
| CEM            | : Cement, Portland Çimentosu |
| MPa            | : Megapascal                 |
| M <sub>w</sub> | : Magnitud                   |
| R <sup>2</sup> | : Korelasyon Katsayısı       |
| TS             | : Türk Standardı             |

## TABLolar LİSTESİ

|                                                                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tablo 2.1: Agregaların sınıflandırılması .....                                                                    | 12 |
| Tablo 2.2: Su miktarına bağlı mukavemetteki azalma değerleri.....                                                 | 18 |
| Tablo 3.1: Beton deneme karışımlarının dayanımı .....                                                             | 28 |
| Tablo 3.2: Kür süresine bağlı dayanım değerleri (MPa).....                                                        | 32 |
| Tablo 3.3: Beton numunelerin karakteristik basınç dayanımları .....                                               | 35 |
| Tablo 3.4: Deneylerde kullanılan beton türleri .....                                                              | 38 |
| Tablo 3.5: Numunelerin ortalama basınç dayanımları.....                                                           | 38 |
| Tablo 4.1: Deneyde kullanılan beton türleri ve numune sayıları. ....                                              | 40 |
| Tablo 4.2: Düşük dayanımlı beton karışım oranları. ....                                                           | 44 |
| Tablo 4.3: Normal dayanımlı betonların karışım oranları. ....                                                     | 44 |
| Tablo 4.4: Yüksek dayanımlı betonların karışım oranları. ....                                                     | 44 |
| Tablo 4.5: Ses hızı-beton kalitesi ilişkisi .....                                                                 | 45 |
| Tablo 4.6: Kırma kum elek analizi.....                                                                            | 48 |
| Tablo 4.7: Deniz kumu elek analizi .....                                                                          | 49 |
| Tablo 4.8: D <sub>maks</sub> =4 mm elekten % geçen .....                                                          | 49 |
| Tablo 5.1: Numune isimlendirmeleri .....                                                                          | 51 |
| Tablo 5.2: Düşük dayanımlı beton numunelerin tahribatlı ve tahribatsız<br>deneylerine ait deneysel sonuçlar. .... | 53 |
| Tablo 5.3: Düşük dayanımlı eğilme numuneleri tokluk hesaplamaları. ....                                           | 64 |
| Tablo 5.4: Normal dayanımlı beton numunelerin tahribatlı ve tahribatsız<br>deneylerine ait deney sonuçları. ....  | 66 |
| Tablo 5.5: Normal dayanımlı eğilme numuneleri tokluk hesaplamaları.....                                           | 76 |
| Tablo 5.6: Yüksek dayanımlı beton numunelerin tahribatlı ve tahribatsız<br>deneylerine ait deney sonuçları. ....  | 78 |
| Tablo 5.7: Yüksek dayanımlı eğilme numuneleri tokluk hesaplamaları.....                                           | 87 |

## ŞEKİLLER LİSTESİ

|                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1.1: Türkiye deprem tehlike haritası .....                                         | 1  |
| Şekil 1.2: 1900-2017 yılları arası Türkiye'de gerçekleşen depremler.....                 | 2  |
| Şekil 1.3: 17 Ağustos 1999 Marmara depremi.....                                          | 3  |
| Şekil 1.4: 12 Kasım 1999 Düzce depremi.....                                              | 3  |
| Şekil 1.5: 30 Ekim 2020 İzmir depremi .....                                              | 3  |
| Şekil 1.6: Avcılar bölgesindeki bir yapıya ait beton parçası.....                        | 4  |
| Şekil 1.7: Güngören'deki binaya ait karot örneği. ....                                   | 5  |
| Şekil 1.8: Yeşilyurt Apartmanına ait beton parçası ve yıkıntıdan çıkan deniz kabukları . | 6  |
| Şekil 2.1: Betonlu oluşturan malzemeler. ....                                            | 9  |
| Şekil 2.2: Agregaların mevcut nem durumları. ....                                        | 13 |
| Şekil 2.3: Beton dayanımına etki eden faktörler. ....                                    | 14 |
| Şekil 2.4: Çimentonun ana bileşenleri .....                                              | 17 |
| Şekil 2.5: S/Ç oranının beton dayanımına etkisi .....                                    | 18 |
| Şekil 2.6: Bir istiridye kabuğuna ait SEM mikrografları .....                            | 24 |
| Şekil 3.1: Su içeriği-beton türleri grafiği .....                                        | 26 |
| Şekil 3.2: Başlangıç ve bitiş priz süresi-beton türleri .....                            | 26 |
| Şekil 3.3: 28 günlük basınç dayanım grafiği.....                                         | 27 |
| Şekil 3.4: Termal iletkenlik-beton türleri grafiği .....                                 | 27 |
| Şekil 3.5: Basınç dayanımı-kür süresi grafiği .....                                      | 29 |
| Şekil 3.6: Çekme Dayanımı-kür süresi grafiği.....                                        | 29 |
| Şekil 3.7: Eğilme dayanımı-kür süresi grafiği .....                                      | 30 |
| Şekil 3.8: Elastisite modülü-kür süresi grafiği.....                                     | 30 |
| Şekil 3.9: Basınç dayanım karşılaştırma grafiği .....                                    | 33 |
| Şekil 3.10: Slump değeri karşılaştırma grafiği.....                                      | 34 |
| Şekil 3.11: Schmidt deneyi sonuç karşılaştırma grafiği.....                              | 34 |
| Şekil 3.12: Basınç gerilemesi karşılaştırma grafiği.....                                 | 35 |
| Şekil 3.13: Gözenek dağılımı .....                                                       | 36 |
| Şekil 3.14: Dört aşamalı normalleştirilmiş ısı akışı gelişimi .....                      | 36 |
| Şekil 3.15: Basınç dayanımı karşılaştırması .....                                        | 37 |
| Şekil 3.16: Normal dayanımlı betonların gerilme sonuçları .....                          | 38 |
| Şekil 3.17: Düşük dayanımlı betonların gerilme sonuçları .....                           | 39 |
| Şekil 4.1: Deneysel akış şeması. ....                                                    | 41 |
| Şekil 4.2: Marmara Denizi'nden temin edilen kum ve deniz kabukları. ....                 | 42 |
| Şekil 4.3: Yıkıntılardan alınan beton numuneler .....                                    | 42 |
| Şekil 4.4: Yıkıntılardan alınan numunelerin dayanımları ve kabuk içerikleri. ....        | 43 |
| Şekil 4.5: Beton karışımı hazırlama safhaları. ....                                      | 45 |
| Şekil 4.6: Ultrases deneyi.....                                                          | 46 |
| Şekil 4.7: Schmidt deneyi. ....                                                          | 46 |
| Şekil 4.8: Basınç deneyi-eğilme deneyi. ....                                             | 47 |

|                                                                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 4.9: 1-Düşük ve normal dayanımlı küp numuneler, 2-Yüksek dayanımlı küp numuneler, 3- bütün eğilme numuneleri, 4-Kırılmış eğilme numuneleri..... | 47 |
| Şekil 4.10: Temsili eğilme cihazı çizimi.....                                                                                                         | 48 |
| Şekil 4.11: Elek analizi karşılaştırma grafiği. ....                                                                                                  | 50 |
| Şekil 5.1: Düşük dayanımlı numunelerin ortalama ultrases sonuçlarına ait sütun grafiği. ....                                                          | 54 |
| Şekil 5.2: Düşük dayanımlı numunelerin basınç dayanımı-ultrases korelasyon grafiği. ....                                                              | 55 |
| Şekil 5.3: Düşük dayanımlı numunelerin ortalama schmidt dayanımlarına ait sütun grafiği. ....                                                         | 55 |
| Şekil 5.4: Düşük dayanımlı numunelerin basınç-schmidt dayanımı korelasyon grafiği. ....                                                               | 56 |
| Şekil 5.5: Düşük dayanımlı numunelerin ortalama basınç dayanımı sonuçlarına ait sütun grafiği. ....                                                   | 57 |
| Şekil 5.6: Düşük dayanımlı referans numunelere ait gerilme-birim deformasyon grafiği. ....                                                            | 57 |
| Şekil 5.7: Düşük dayanımlı deniz kumlu numunelere ait gerilme-birim deformasyon grafiği. ....                                                         | 58 |
| Şekil 5.8: Düşük dayanımlı %3 deniz kumlu numunelere ait gerilme-birim deformasyon grafiği. ....                                                      | 58 |
| Şekil 5.9: Düşük dayanımlı %6 deniz kumlu numunelere ait gerilme-birim deformasyon grafiği. ....                                                      | 59 |
| Şekil 5.10: Düşük dayanımlı %9 deniz kumlu numunelere ait gerilme-birim deformasyon grafiği. ....                                                     | 59 |
| Şekil 5.11: Düşük dayanımlı numunelerin ortalama gerilme-birim deformasyon grafiği. ....                                                              | 60 |
| Şekil 5.12: Düşük dayanımlı numunelerin ortalama eğilme dayanımı sonuçlarına ait sütun grafiği. ....                                                  | 60 |
| Şekil 5.13: Düşük dayanımlı referans numunelere ait yük-sehim grafiği. ....                                                                           | 61 |
| Şekil 5.14: Düşük dayanımlı deniz kumlu numunelere ait yük-sehim grafiği. ....                                                                        | 61 |
| Şekil 5.15: Düşük dayanımlı %3 deniz kabuklu numunelere ait yük-sehim grafiği. ....                                                                   | 62 |
| Şekil 5.16: Düşük dayanımlı %6 deniz kabuklu numunelere ait yük-sehim grafiği. ....                                                                   | 62 |
| Şekil 5.17: Düşük dayanımlı %9 deniz kabuklu numunelere ait yük-sehim grafiği. ....                                                                   | 63 |
| Şekil 5.18: Düşük dayanımlı numunelerin basınç dayanımı-eğilme dayanımı korelasyon grafiği. ....                                                      | 63 |
| Şekil 5.19: Düşük dayanımlı eğilme numunelerinin ortalama tokluk sütun grafiği. ....                                                                  | 64 |
| Şekil 5.20: Düşük dayanımlı eğilme numunelerinin eğilme dayanımı-sehim karşılaştırma grafiği. ....                                                    | 64 |
| Şekil 5.21: Normal dayanımlı numunelerin ortalama ultrases sonuçlarına ait sütun grafiği. ....                                                        | 67 |
| Şekil 5.22: Normal dayanımlı numunelerin basınç dayanımı-ultrases korelasyon grafiği. ....                                                            | 68 |
| Şekil 5.23: Normal dayanımlı numunelerin ortalama schmidt sonuçlarına ait sütun grafiği. ....                                                         | 68 |
| Şekil 5.24: Normal dayanımlı numunelerin basınç dayanımı-schmidt korelasyon grafiği. ....                                                             | 69 |
| Şekil 5.25: Normal dayanımlı numunelerin ortalama basınç dayanımı sonuçlarına ait sütun grafiği. ....                                                 | 70 |
| Şekil 5.26: Normal dayanımlı referans numunelere ait gerilme-birim deformasyon grafiği. ....                                                          | 70 |

|                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 5.27: Normal dayanımlı deniz kumlu numunelere ait gerilme-birim deformasyon grafiği.....       | 71 |
| Şekil 5.28: Normal dayanımlı %3 deniz kabuklu numunelere ait gerilme-birim deformasyon grafiği.....  | 71 |
| Şekil 5.29: Normal dayanımlı %6 deniz kabuklu numunelere ait gerilme-birim deformasyon grafiği.....  | 71 |
| Şekil 5.30: Normal dayanımlı %9 deniz kabuklu numunelere ait gerilme-birim deformasyon grafiği.....  | 72 |
| Şekil 5.31: Normal dayanımlı numunelere ait ortalama gerilme-birim deformasyon grafiği.....          | 72 |
| Şekil 5.32: Normal dayanımlı numunelerin ortalama eğilme dayanımı sonuçlarına ait sütun grafiği..... | 73 |
| Şekil 5.33: Normal dayanımlı referans numunelere ait yük-sehim grafiği.....                          | 73 |
| Şekil 5.34: Normal dayanımlı deniz kumlu numunelere ait yük-sehim grafiği.....                       | 74 |
| Şekil 5.35: Normal dayanımlı %3 deniz kabuklu numunelere ait yük-sehim grafiği.....                  | 74 |
| Şekil 5.36: Normal dayanımlı %6 deniz kabuklu numunelere ait yük-sehim grafiği.....                  | 75 |
| Şekil 5.37: Normal dayanımlı %9 deniz kabuklu numunelere ait yük-sehim grafiği.....                  | 75 |
| Şekil 5.38: Normal dayanımlı numunelere ait basınç dayanımı-eğilme dayanımı korelasyon grafiği.....  | 76 |
| Şekil 5.39: Normal dayanımlı eğilme numunelerine ait tokluk sütun grafiği.....                       | 76 |
| Şekil 5.40: Normal dayanımlı eğilme numunelerinin eğilme dayanımı-sehim karşılaştırma grafiği.....   | 77 |
| Şekil 5.41: Yüksek dayanımlı numunelerin ortalama ultrases sonuçlarına ait sütun grafiği.....        | 79 |
| Şekil 5.42: Yüksek dayanımlı numunelerin basınç dayanımı-ultrases korelasyon grafiği.....            | 80 |
| Şekil 5.43: Yüksek dayanımlı numunelerin ortalama schmidt sonuçlarına ait sütun grafiği.....         | 80 |
| Şekil 5.44: Yüksek dayanımlı numunelerin basınç dayanımı-schmidt korelasyon grafiği.....             | 81 |
| Şekil 5.45: Yüksek dayanımlı numunelere ait ortalama basınç dayanımı sütun grafiği.....              | 81 |
| Şekil 5.46: Yüksek dayanımlı referans numunelere ait gerilme-birim deformasyon grafiği.....          | 82 |
| Şekil 5.47: Yüksek dayanımlı deniz kumlu numunelere ait gerilme-birim deformasyon grafiği.....       | 82 |
| Şekil 5.48: Yüksek dayanımlı %3 deniz kabuklu numunelere ait gerilme-birim deformasyon grafiği.....  | 83 |
| Şekil 5.49: Yüksek dayanımlı %6 deniz kabuklu numunelere ait gerilme-birim deformasyon grafiği.....  | 83 |
| Şekil 5.50: Yüksek dayanımlı %9 deniz kabuklu numunelere ait gerilme-birim deformasyon grafiği.....  | 83 |
| Şekil 5.51: Yüksek dayanımlı betonlara ait ortalama gerilme-birim deformasyon grafiği.....           | 84 |
| Şekil 5.52: Yüksek dayanımlı numunelerin ortalama eğilme dayanımı sonuçlarına ait sütun grafiği..... | 84 |
| Şekil 5.53: Yüksek dayanımlı referans numunelere ait yük-sehim grafiği.....                          | 85 |
| Şekil 5.54: Yüksek dayanımlı deniz kumlu numunelere ait yük-sehim grafiği.....                       | 85 |
| Şekil 5.55: Yüksek dayanımlı %3 deniz kabuklu numunelere ait yük-sehim grafiği.....                  | 86 |

|                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 5.56: Yüksek dayanımlı %6 deniz kabuklu numunelere ait yük-sehim grafiği. ....                    | 86 |
| Şekil 5.57: Yüksek dayanımlı %9 deniz kabuklu numunelere ait yük-sehim grafiği. ....                    | 86 |
| Şekil 5.58: Yüksek dayanımlı numunelere ait basınç dayanımı-eğilme dayanımı<br>korelasyon grafiği. .... | 87 |
| Şekil 5.59: Yüksek dayanımlı eğilme numunelerine ait tokluk sütun grafiği. ....                         | 88 |
| Şekil 5.60: Yüksek dayanımlı eğilme numunelerinin eğilme dayanımı-sehim<br>karşılaştırma grafiği. ....  | 88 |
| Şekil 5.61: Farklı dayanım sınıflarına ait betonların basınç dayanımı karşılaştırma<br>grafiği. ....    | 89 |
| Şekil 5.62: Farklı dayanım sınıflarına ait betonların eğilme dayanımı karşılaştırma<br>grafiği. ....    | 89 |
| Şekil 5.63: Farklı dayanım sınıflarına ait betonların schmidt dayanımı karşılaştırma<br>grafiği. ....   | 90 |
| Şekil 5.64: Farklı dayanım sınıflarına ait betonların ultrases sonuçları karşılaştırma<br>grafiği. .... | 90 |
| Şekil 5.65: Farklı dayanım sınıflarına ait betonların tokluk değeri karşılaştırma<br>grafiği. ....      | 91 |

# ESKİ YAPI BETONLARINDAKİ DENİZ KABUKLARININ DAYANIMA ETKİLERİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI

## ÖZET

Ülkemizdeki yapı stoğunu büyük ölçüde betonarme yapıların oluşturduğu bilinmektedir. Betonarme yapıların depremlerde çökmesinin ya da hasar almasının temel nedenlerinden biri düşük beton kalitesidir. Özellikle kıyı bölgelerinde en sık rastlanılan beton dayanımını düşürücü etki elenmemiş-yıkanmamış deniz kabuklu deniz kumu kullanımıdır. Deniz kumundaki tuz ve organik madde gibi zararlı ürünlere ilaveten, içerdikleri deniz kabuklarının da dayanımı düşük, kırılgan yapıları organik maddeler olmasından dolayı deniz kumundan imal edilmiş betonların dayanımının daha az olduğu tahmin edilmektedir. Özellikle 1999 depremi öncesi yapılan binaların deniz kumundan yapıldığı bilinmektedir. İstanbul gibi yoğun nüfuslu, ekonomik, stratejik ve jeopolitik açıdan önemli bir şehirde, halen 1999 depremi öncesi yapılmış milyonlarca yapı bulunmakta ve çoğu riskli yapı sınıfındadır.

Bu yüksek lisans tezi kapsamında, eski yapı betonlarında kullanıldığı tahmin edilen deniz kumu ve deniz kabuğunun beton dayanımına etkilerinin deneysel olarak araştırılması amaçlanmıştır.

Öncelikle İstanbul'un Kartal ilçesine bağlı Atalar ve Cevizli mahallelerindeki kentsel dönüşüm amaçlı yıkılmış binalardan moloz numuneleri alınmış, basınç testleri ile dayanımları belirlenmiş ve betonlarda var olan deniz kabuğu oranı ve beton basınç dayanımları tespit edilmiştir. Böylece bölgedeki bina betonlarının durumları hakkında bilgi edinilmiştir. Marmara Denizinden alınan deniz kumu ve deniz kabuğu ile düşük, normal ve yüksek dayanımlı olmak üzere üç farklı dayanım sınıfında; referans, deniz kumlu, %3, %6, %9 oranlarında deniz kabuğu içeren betonlar üretilmiştir. Üretilen betonlar birim hacim ağırlık, ultrases, schmidt, basınç ve eğilme deneylerine tabi tutulmuş ve sonuçlar kırma kumlu-deniz kabuksuz referans betonlar ile karşılaştırılmıştır.

Deniz kumunun dayanımı ciddi oranda düşürdüğü elenmeden deniz kabukları ile kullanılması halinde dayanımlarda kayıpların arttığı tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Deniz Kabuğu, Deniz Kumu, Beton Dayanımı

# **SEASHELLS IN OLD BUILDING CONCRETES EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF ITS EFFECTS ON STRENGTH**

## **SUMMARY**

It is known that the building stock in our country is largely composed of reinforced concrete structures. One of the main reasons for the collapse or damage of reinforced concrete structures in earthquakes is low concrete quality. Especially in coastal areas, the most common effect reducing the concrete strength is the use of unscreened-unwashed sea shell sea sand. In addition to harmful products such as salt and organic matter in sea sand, it is estimated that the durability of concrete made from sea sand is lower because the sea shells they contain are low-strength and brittle organic substances. It is known that the buildings built before the 1999 earthquake were made of sea sand. In a densely populated, economically, strategically and geopolitically important city like Istanbul, there are still millions of buildings built before the 1999 earthquake and most of them are in the risky building class.

Within the scope of this master's thesis, it is aimed to experimentally investigate the effects of sea sand and seashell, which are estimated to be used in existing building concrete, on concrete strength.

First of all, rubble samples were taken from the demolished buildings for urban transformation in Atalar and Cevizli neighborhoods of Kartal district of Istanbul, their strength was determined by pressure tests, and the sea shell ratio and concrete compressive strengths of concrete were determined. Thus, information was obtained about the conditions of the building concretes in the region. With sea sand and sea shell taken from the Marmara Sea, in three different strength classes as low, normal and high strength; Concretes containing reference, sea sand, 3%, 6%, and 9% sea shell were produced. The produced concretes were subjected to unit volume weight, ultrasound, schmidt, pressure and bending tests and the results were compared with the reference concretes with crushed sand and without sea shell.

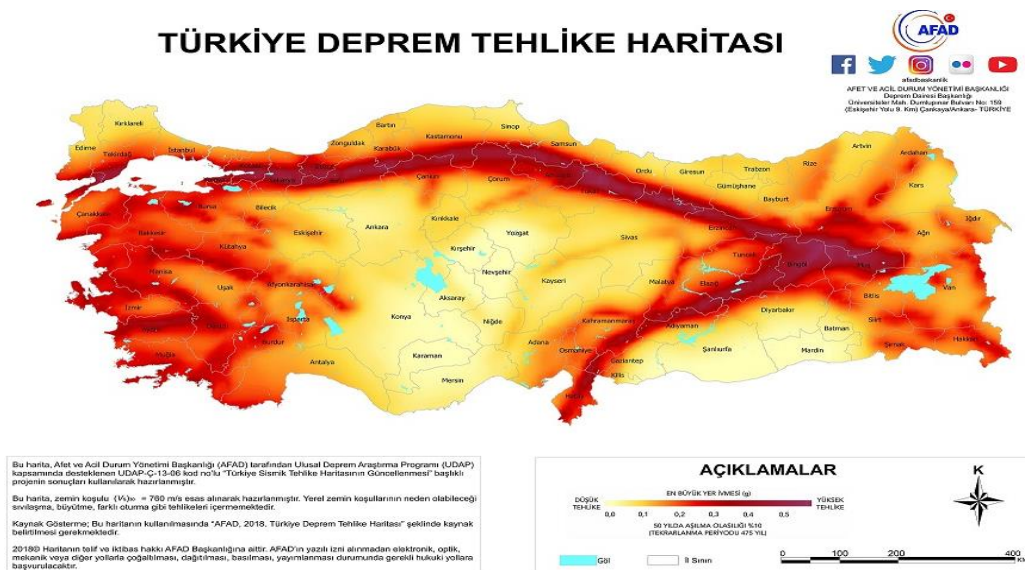
It has been determined that sea sand significantly reduces the strength, and if it is used with seashells without being screened, the losses in strength increase.

Keywords: Sea Shell, Sea Sand, Concrete Strength

# BÖLÜM 1. GİRİŞ

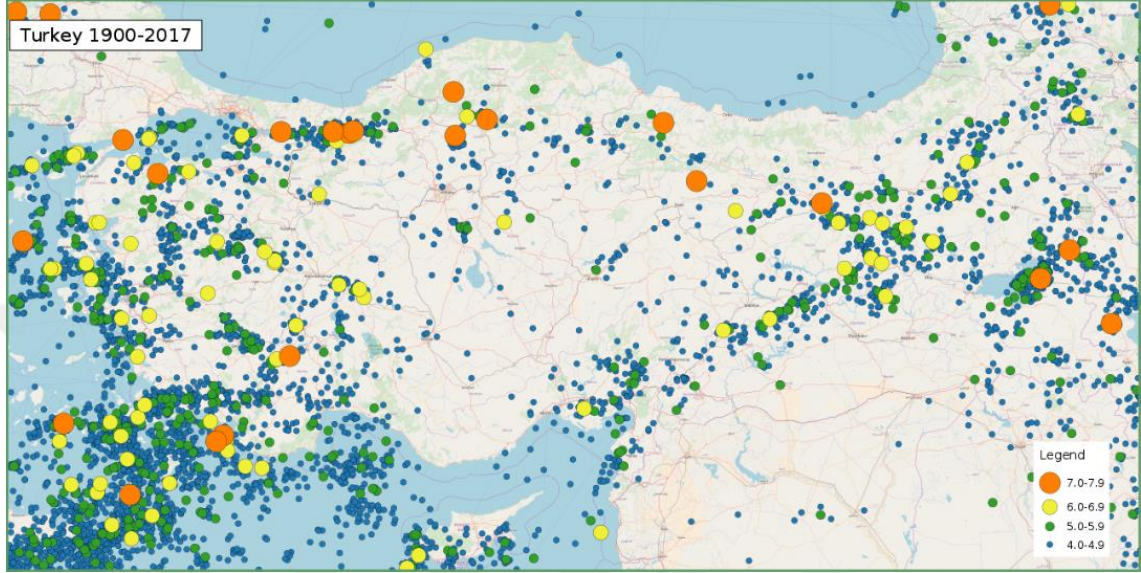
Milyarlarca yıldır varlığını sürdüren gezegenimizin, üzerinde yaşadığımız katmanına yer kabuğu denilmektedir. Yer kabuğu, iç katmanlarda oluşan konveksiyon akımlar etkisiyle parçalanmakta ve levhaları oluşturmaktadır. Akımların etkisiyle levhalar, birbirini sıkıştırarak, birbirine yaklaşarak veya birbirinden uzaklaşarak yer değiştirmektedir. Bu levha hareketleri sonucu yüzyıllar boyu yer kabuğunda biriken enerji, zaman zaman açığa çıkarak kilometrelerce uzunluğa erişebilen ve fay olarak isimlendirilen yer kabuğundaki kırıkları, fay hareketleri ise depremleri oluşturmaktadır. Deprem, insanın hareketsiz kabul ettiği ve güvenle ayağını bastığı toprağın da oynayacağını ve üzerinde bulunan tüm yapılarında hasar görüp, can kaybına uğrayacak şekilde yıkılabileceklerini gösteren bir doğa olayıdır [1].

Ülkemiz, 3 büyük levhanın (Avrasya, Afrika, Arap Levhaları) ve birçok küçük levhanın etkisinde olan ve aktif fay hatlarının (Doğu Anadolu, Batı Anadolu, Kuzey Anadolu Fay Hatları) bulunduğu, depremselliği yüksek bir bölgede yer almaktadır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1: Türkiye deprem tehlike haritası [2].

Tarih boyunca bu coğrafya, çok sayıda yıkıcı depreme maruz kalmıştır. Sadece 1900-2017 yılları arasında 6 Mw büyüklüğü üzerinde 20'yi aşkın büyük deprem meydana gelmiştir (Şekil 1.2). Yaşanan depremlerde binlerce can kayıpları yaşanmış, sayısız hayvan telef olmuş, binalar ağır hasar almış ve çoğu yıkılmıştır.



Şekil 1.2: 1900-2017 yılları arası Türkiye'de gerçekleşen depremler [3].

Ülkemizde gerçekleşen yıkıcı depremlere bazı örnekler şunlardır: 7.2 Mw büyüklüğündeki 26 Kasım 1943 Lâdik depreminde 2300'e yakın kişi [4], asrın felaketi olarak nitelendirilen 7.6 Mw büyüklüğündeki 17 Ağustos 1999 Marmara depreminde 2010 yılında yayınlanan Meclis Araştırması Raporu'na göre 18373 kişi [5], 7.1 Mw büyüklüğündeki 12 Kasım 1999 Düzce depreminde 710 kişi [6], 6.6 Mw büyüklüğündeki 30 Ekim 2020 İzmir depreminde 117 kişi [7] hayatını kaybetmiştir.

Şekil 1.3-1.4-1.5'te sırasıyla Marmara, Düzce ve İzmir depremlerinde yıkılan binalara ait görseller, depremin ardında bıraktığı hasarı gözler önüne sermektedir. Deprem tarihinde yüksek can kayıplarının yaşandığı, yerleşim alanlarının yerle bir olduğu ülkemizde, depremin değil, yetersiz dayanımlı binaların esas tehlike olduğu apaçık ortadadır.

Denetimsizlik, yanlış projelendirme, kalitesiz malzeme kullanımı, kalitesiz işçilik, kötü beton, aktif fay hatlarının üzerine bina yapımı, zemin özelliklerinin dikkate alınmaması gibi birçok faktör depremin yıkıcı etkilerini artırmaktadır.



Şekil 1.3: 17 Ağustos 1999 Marmara depremi [8].



Şekil 1.4: 12 Kasım 1999 Düzce depremi [9].



Şekil 1.5: 30 Ekim 2020 İzmir depremi [10].

Ülkemizdeki yapı stoğunu, büyük ölçüde betonarme yapıların oluşturduğu bilinmektedir. Betonarme yapıların depremlerde çökmesinin yahut hasar almasının temel nedenlerinden biri düşük beton kalitesidir. 1999 Depremi sonrası bölgede yapılan bir araştırmada

binalardan alınan karot numunelerinin %65'ten fazlasının C16 dayanım sınıfının altında olduğu tespit edilmiştir [11].

Türkiye'de şiddetli depremlerde yıkılan veya hasar gören birçok betonarme bina, beton kalitesi açısından benzer özelliklere sahiptir. Bu özellikler, yetersiz çimento miktarı ile uygun beton karışım tasarımının yapılmaması, elek analizinin ve agreganın uygun gradasyonun yapılmaması, özellikle deniz kıyısına yakın binalarda yıkanmamış, deniz kabuğu içeren deniz kumunun kullanılması, hacim esaslı yöntemlerle yerinde beton üretilmesi, işlenebilirlik için genellikle yüksek su/çimento oranının kullanılması, beton döküldükten sonra vibrasyonun yapılmaması, betonun hava koşullarına dikkat edilmeden yerleştirildikten sonra yetersiz kürlenmesi, çoğu bina için kalite kontrol numunelerinin alınmaması olarak özetlenebilir [12].

Ülkemizde, özellikle kıyı kesimlerinde en sık rastlanılan beton dayanımını düşürücü etki, elenmemiş-yıkanmamış deniz kabuklu deniz kumu kullanımıdır. Deniz kumundaki tuz ve kir gibi zararlı maddelere ilaveten, içerdikleri deniz kabuklarının da dayanımı düşük, kırılgan yapılı organik maddeler olmasından dolayı deniz kumundan imal edilmiş betonların dayanımının daha az olduğu tahmin edilmektedir. Şekil 1.6'de deniz kabuğu içeren bir beton parçası görülmektedir.



Şekil 1.6: Avcılar bölgesindeki bir yapıya ait beton parçası [12].

Aydın (2019) [36], deniz kumu ve deniz kabuğunun beton dayanımına etkilerinin araştırmıştır. Deniz kumunun hacimce %3'ü ve %6'sı oranlarında normal ve düşük olmak üzere 2 farklı dayanım sınıfında deniz kabuğu ikameli betonlar üretmiştir. Yapmış olduğu

deneysel çalışmada deniz kabuğu ile hazırlanan beton numunelerin referans betonlara göre normal dayanımlı betonlarda %26, düşük dayanımlı betonlarda ise %45 oranında basınç dayanımlarının azalabileceği tespit etmiştir.

Denize yakın bölgelerde, deniz kumuna ulaşımın hem daha hızlı hem daha ekonomik olmasından dolayı, yapı betonlarında tercih edilmiş ancak deniz kumu içerdiği yoğun miktardaki deniz kabuğu, tuz ve diğer zararlı maddelerden arındırılmadan kullanılmıştır. Dolayısıyla yüksek oranlarda deniz kabuğu beton karışımına girdiği bilinmektedir.

İstanbul gibi kıyı şehri olan bölgelerde, 1999 depremi öncesi yapılan binaların deniz kumundan yapıldığı tahmin edilmektedir. Bu durumu ispatlar nitelikte sayısız örnek mevcuttur. En güncel örnek ise İstanbul Güngören’de oluşan tehlikeli çatlaklar nedeniyle tahliye edilen binadan alınan karot örnekleridir. Şekil 1.7’de gözüktüğü üzere bina deniz kumundan inşaa edilmiş ve deniz kabukları içermektedir [13].



Şekil 1.7: Güngören’deki binaya ait karot örneği [13].

Yaşanan son felaket durumun vehametini gözler önüne sermektedir. Tarihler 6 Şubat 2019’u gösterdiğinde Kartal’da deprem etkisi olmadan Yeşilyurt Apartmanı’nın ansızın çökmesiyle bir facia yaşanmış ve maalesef 21 kişi bu elim olay sonucu göçük altında kalarak can vermiştir. 6 Şubat 2019’da çöken Yeşilyurt Apartmanı’na ait bir beton parçası durumun ciddiyetini gözler önüne sermektedir (Şekil 1.8).

Yapılan ön inceleme raporunda, deniz kumunun usulüne uygun elenip yıkanmamasından dolayı midye kabuklarına rastlandığı, demirlerde korozyon olduğu bildirilmiştir [14].



Şekil 1.8: Yeşilyurt Apartmanına ait beton parçası ve yıkıntıdan çıkan deniz kabukları [14].

Deprem etkisi dahi olmadan aniden çöken Yeşilyurt Apartmanı ve 1999 depremi öncesi inşa edildiği uzmanlar tarafından tespit edilen 30 Ekim 2020 İzmir depreminde yıkılmış ve ağır hasarlı binalar, eski yapılarda oturan insanları can güvenlikleri konusunda tedirgin etmiştir. Her iki olaydan sonra bölgedeki riskli binalar acilen tahliye edilmiş, kentsel dönüşüm çalışmaları hız kazanmıştır.

Depremin büyük bir tehdit olduğu ancak tehditin sadece deprem olmadığı, depremin değil binanın öldürdüğü, deniz kumunun ve beraberinde getirdiği deniz kabuklarının binaların dayanımını düşürdüğü, betonun zaman içerisinde küçük yükleri bile taşıyamaz hale geldiği ve beklenen büyük İstanbul depreminde eski binaların böyle bir şiddete dayanamayacağı gerçeği yeniden gün yüzüne çıkmıştır.

İstanbul gibi yoğun nüfuslu, ekonomik, stratejik ve jeopolitik açıdan önemli bir şehirde, halen daha 1999 depremi öncesi yapılmış milyonlarca yapı bulunmakta ve çoğu riskli yapı sınıfındadır.

### 1.1. Tezin Amaç ve Kapsamı

Eski yapı betonlarında deniz kumu kullanımı haricinde, beton genişmesi, nemlilik, korozyon, kür koşullarının yetersizliği, nervürsüz donatı kullanımı, yetersiz iri agrega kullanımı, vibrasyon eksikliği gibi birçok dayanımı düşürücü etkidenden bahsetmek

mümkündür. Bu çalışma kapsamında, eski yapı betonlarındaki deniz kumu ve deniz kabuğunun beton dayanımına etkilerinin deneysel olarak araştırılması amaçlanmıştır.

İstanbul'un Kartal ilçesine bağlı Atalar ve Cevizli mahallelerindeki kentsel dönüşüm amaçlı yıkılmış bina molozlarından beton numuneleri alınmış, basınç testleri ile dayanımları ölçülmüş ve içerdikleri deniz kabukları numune ağırlığına bağlı olarak yüzdece tespit edilmiştir. Böylece bölgedeki bina betonlarının durumları hakkında bilgi edinilmiştir.

Deniz kabuklu betonların, basınç ve eğilme dayanımlarını nasıl etkilediğini belirlemek amacıyla çeşitli oranlarda deniz kabuklu betonlar hazırlanarak, dayanım sınıflarına göre etkileri deneysel olarak belirlenmiştir.

Marmara Denizinden alınan deniz kumu ve deniz kabuğu ile düşük, normal ve yüksek dayanımlı olmak üzere üç farklı dayanım sınıfında; referans, deniz kumlu; %0 %3, %6, %9 oranlarında deniz kabuğu içeren betonlar üretilmiştir. Üretilen betonlar birim hacim ağırlık, ultrases, schmidt, basınç ve eğilme deneylerine tabi tutulmuş sonuçlar normal kumlu-deniz kabuksuz referans betonlar ile karşılaştırılmıştır.

## **BÖLÜM 2. BETON DAYANIMI**

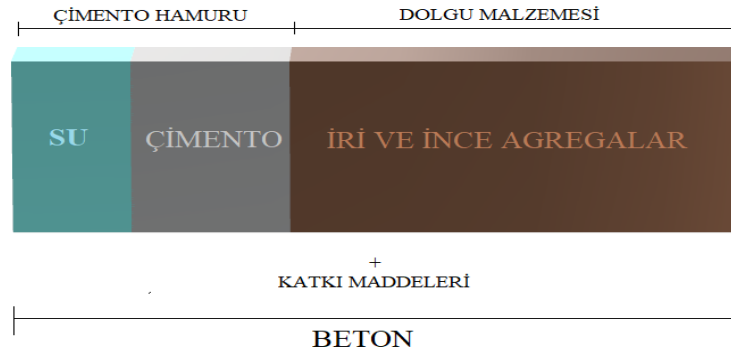
Türkiye ve dünyada en çok tercih edilen yapı malzemesi betonarmedir. Ham maddesinin kolayca bulunabilmesi, diğer yapı malzemelerine nazaran basınç dayanımının yüksek olması, üstün işlenebilirlik gibi özelliklere sahip kompozit bir yapı malzemesi olan betonarme, beton ve çelik donatı çubukların bir araya gelmesiyle üretilir. Konutlar, işyerleri, okullar, santraller, barajlar, havaalanları, limanlar gibi örnekleri artırılabilir çok sayıda yapı, betonarmeden inşa edilmiş ve edilmektedir.

Ülkemizde kıyı bölgelerinin hızlı ekonomik gelişimi sonucu artan nüfus, betonarme yapılaşmanın kontrolsüz artmasına sebep olmuştur. Bu bölgelerde, minimum dayanım sınıfını dahi karşılamayan, yanlış tasarlanmış, kalitesiz malzeme ve kötü işçilik ile yapılmış çarpık bir kentleşme, vasat bir betonarme yapılaşma ortaya çıkmıştır.

Betonarme yapıların mevcudiyetine güvenli bir şekilde devam edebilmesi için gereken en temel unsurlardan biri beton dayanımıdır. Bu bölümde öncelikle beton ve betonu oluşturan malzemeler ardından dayanımını etkileyen faktörler detaylı olarak anlatılmıştır.

### **2.1. Beton**

Beton; agrega, su, çimento ve katkı maddelerinden oluşan kompozit bir malzemedir (Şekil 2.1). Başlangıçta plastik kıvamda olup şekil verilebilen bu malzeme, çimento ile suyun hidratasyon tepkimeleri sonucunda 1 ile 10 arası saat sürede priz alarak sertleşmeye başlar ve dayanımı zaman içerisinde artmaktadır.



Şekil 2.1: Betonu oluşturan malzemeler.

Çağdaş günlük yaşamda, betonla karşılaşılmayan veya betondan yapılmış yapılardan yararlanılmayan tek bir gün dahi yoktur. İnşaat mühendislerinin, bilim adamlarının, işadamlarının ve betonla ilgili herkesin betonun özelliklerini yeterince tanımaları, karşılaşılan sorunların neler olduklarını ve nereden, nasıl kaynaklandığını çok iyi bilmeleri gerekir [15].

Betondan beklenen başlıca özellikler şunlardır: yapıyı hizmet süresi boyunca çevresel faktörlerden korumak (hava koşulları, alkali agrega, asitler, sülfatlar, donma-çözünme, ıslanma-kuruma, aşınma vb.); rötre olarak isimlendirilen ve çatlamalara sebep olan büzülme olayına karşı hacim sabitliğine sahip olmak; üzerine gelen yüklere karşı dirençli olmak, hedef minimum dayanımını sağlamak; geçirimsiz olmak (aksi takdirde boşluklardan betona nüfuz eden nem, donatının korozyona uğrayıp dayanım kaybetmesine ve donma çözülme dayanımının da düşmesine sebep olur). Beton kaliteli malzeme kullanılıp kaliteli işçilik ile üretilir ve bakım koşulları sağlanırsa bahsedilen bu özelliklere sahip olmaktadır.

Betonun avantajları ve dezavantajları şunlardır [15-16]: Hazırlanması oldukça kolaydır ve istenilen boyutta tek parça üretilebilir; döküldüğü kabın şeklini alır; yapım süreleri oldukça kısadır; sertleşmiş beton oldukça yüksek dayanıma sahiptir; yangın, su, darbe vb. dış etkilere diğer yapı malzemelerine göre daha dayanıklıdır; bakım işlemleri ve masraf gerektirmemektedir; beton, çelik donatılarla çok iyi aderans gösterebilecek kapasitede bir özelliğe sahiptir; çekme dayanımı oldukça düşük olan bir malzemedir ve gevrek özelliğe sahiptir; yıkılmaları zordur; betona ek yapılması oldukça güçtür; ses, ısı ve rutubeti geçir.

### 2.1.1. Betonu oluşturan malzemeler

#### 2.1.1.1. Çimento

Çimento, su ile karıştırıldığında hidrasyon reaksiyonları ve prosesler nedeniyle priz alan ve sertleşen bir hamur (pasta) oluşturan ve sertleşme sonrası suyun altında bile dayanımını ve kararlılığını koruyan, inorganik ve ince öğütülmüş hidrolik bağlayıcıdır [17].

1824 yılında Joseph Aspdin çeşitli malzemelerle elde ettiği bir bağlayıcıya “portland çimentosu” ismiyle patent almıştır. Zaman içerisinde bu bağlayıcı içerik ve özellik olarak geliştirilmiş olsada, bu isim günümüzde halen daha tüm ülkeler tarafından kullanılmaktadır.

Çimentonun yapısı, kireç ( $\text{CaO}$ ), silis ( $\text{SiO}_2$ ), alümin ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), demir ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), magnezi ( $\text{MgO}$ ), alkaliler ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ), kükürt anhidriti ( $\text{SO}_3$ ) oksitlerden; dikalsiyum silikat ( $\text{C}_2\text{S}$ ), trikalsiyum silikat ( $\text{C}_3\text{S}$ ), trikalsiyum aluminat ( $\text{C}_3\text{A}$ ), tetrakalsiyum aluminoferrit ( $\text{C}_4\text{AF}$ ) anabileşenlerden oluşmaktadır [15].

Çimentonun, birden fazla aşamadan oluşan bir üretim süreci vardır. Kil ve kalker kırılıp öğütüldükten sonra belli oranlarda (yaklaşık %70 kalker,%30 kil) karıştırılır, 1350-1500 °C varan ısılarda pişirilir. Pişirme işlemi sonrası ani soğutmaya tabi tutulan hammaddelerden klinker olarak adlandırılan herhangi bir bağlayıcılık özelliği bulunmayan ceviz büyüklüğünde ara ürün elde edilir. Klinkere priz süresini geciktirmek için %3-5 oranında alçı taşı katılır, malzemeler mikro boyuta gelene kadar öğütülür ve sonucunda çimento elde edilmiş olur.

TS EN 197-1’e göre CEM I Portland çimentosu, CEM II Portland-kompoze çimento, CEM III Yüksek Fırın Curuflu çimento, CEM IV Puzolanlı çimento, CEM V Kompoze çimento olmak üzere 5 ana tipte gruplandırılmış 27 farklı türde çimento bulunmaktadır; 32,5 sınıfı; 42,5 sınıfı; 52,5 sınıfı olmak üzere 3 standart dayanım sınıfı belirlenmiştir ve N ile belirtilen normal erken dayanım sınıfı ve R ile belirtilen yüksek erken dayanım sınıfı olmak, üzere her bir standart dayanım sınıfı için iki erken dayanım sınıfı tanımlanmıştır.

### **2.1.1.2. Su**

Su, beton üretiminin her safhası için oldukça önemlidir. Beton ile ilgili işlemlerde, suyun karışım suyu, kür suyu ve yıkama suyu olmak üzere üç değişik işlevi vardır. Karışım suyu olarak, beton üretiminde beton karışımının içerisindeki çimentonun hidrasyonun sağlanmasında ve taze betonun işlenebilirliğe sahip olmasında görev alır. Betondan istenilen dayanım ve dayanıklılığın elde edilebilmesi için, beton içerisindeki su-çimento hidrasyonun tamamlanması gerekir. Taze beton içerisindeki suyun buharlaşmasının engellenmesi için su çeşitli kür işlemleri uygulanır.

Bu kür işlemlerinden en yaygın olanları, beton yüzeyini sulamak veya ıslak bezlerle örtülü tutmaktır. Özellikle yaz aylarında kürleme işlemi oldukça önemlidir. Betonda kullanılacak agregaların zararlı maddelerden arındırılmaları gerekir. Bu amaçla beton yapımında su, yıkama suyu kullanılır. Aksi halde agregalarda bulunan kil, silt, organik madde gibi zararlı maddeler beton özelliklerini olumsuz etkiler [15].

### **2.1.1.3. Agregalar**

Agregalar, betonda bulunan kırma taş, iri agregalar, kum gibi çeşitli büyüklükteki taneli malzemelerdir. Beton hacminin, %70-%75'ini oluştururlar. Agregalar, sert ve dayanımı yüksek malzemelerdir, dolayısıyla betonun hem dayanımını artırır hem de çevresel faktörlere karşı betonun dayanıklı olmasına katkı sağlarlar. Çimento hamuru, zamanla, kuruyarak büzülme gösteren bir malzemedir ancak beton içerisinde bulunan agregalar taneleri çimento hamurunun zamana bağlı olarak gösterebileceği hacim değişikliğinin serbestçe yer alabilmesini belirli ölçüde engellemektedir. O nedenle, sadece çimento hamurundan oluşmuş bir malzemeye nazaran, agregalar içeren betonun hacim değişikliği ve buna bağlı oluşabilecek çatlaklar daha az olmaktadır [15].

Agregaların genel olarak sınıflandırılması Tablo 2.1'de gösterilmiştir. Bu sınıflandırmalar haricinde yüzey dokusuna göre, jeolojik orijinlerine göre, mineralojik yapılarına göre ve reaktif özelliklerine göre de sınıflandırmalar yapılmaktadır.

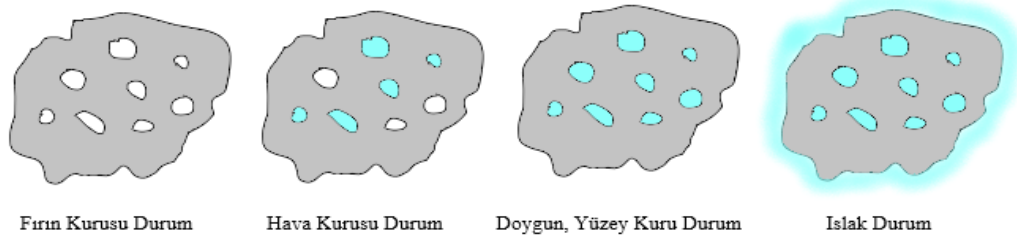
Tablo 2.1: Agregaların sınıflandırılması [15].

|                                 |                                                                                                                                                                                                                             |
|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Elde ediliş şekline göre</b> | -Doğal Agregası (doğal kaynaklardan elde edilen agregalar)<br>-Yapay Agregası (Sanayi ürünü agregalar: uçucu kül agregası, yüksek fırın cürufu ...)                                                                         |
| <b>Çıkarıldıkları yere göre</b> | -Dere Agregası<br>-Deniz Agregası<br>-Buzul Agregası<br>-Teras Agregası                                                                                                                                                     |
| <b>Birim ağırlıklarına göre</b> | -Normal Agregası ( $2.4 - 2.8 \text{ gr/cm}^3$ ), (kum, çakıl, mıcır)<br>-Hafif Agregası ( $\leq 2.4 \text{ gr/cm}^3$ ) (perlit, ponza ...)<br>-Ağır Agregası ( $\geq 2.8 \text{ gr/cm}^3$ ) (manyetit, barit, limonit ...) |
| <b>Boyutlarına göre</b>         | -İnce Agregası $\leq 4 \text{ mm}$ (kum)<br>-İri Agregası $> 4 \text{ mm}$ (I nolu mıcır 5-12 mm, II nolu mıcır 12-32 mm ...)                                                                                               |
| <b>Tane şekillerine göre</b>    | -Tuvenan Agregası (boy sınıflarına ayrılmamış karışık agregası)<br>-Yuvarlak Agregası<br>-Yassı Agregası<br>-Uzun Agregası<br>-Köşeli (kıрма taş) Agregası                                                                  |

Betonun yaklaşık %70-75'ini oluşturan agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri, betonun da dayanımını etkilemektedir.

Agregaların başlıca fiziksel özellikleri; özgül ağırlık, birim ağırlık, mevcut nem durumu, kompozite, incelik modülü ve granülometridir. Özgül ağırlık, agregası tanelerinin işgal ettiği mutlak birim hacmin ağırlığıdır. Bu değerin hesabında taneler arasındaki boşluk dikkate alınmaz. Normal beton agregalarının özgül ağırlığı genellikle  $2.50$  ila  $2.90 \text{ kg/dm}^3$  değerleri arasındadır. Beton karışım hesabını yapabilmek için üretimde kullanılacak agregaların özgül ağırlıklarını bilmek gerekir. Diğer yandan bir agreganın özgül ağırlığı elde edildiği kayanın kökenine bağlıdır. Özgül ağırlığın düşük olması sağlam olmayan agregayı, yüksek olması ise beton kullanılabilecek kaliteli agregayı belirtir. Birim ağırlık, yığın halindeki bir agreganın taneleri arasındaki boşluklar da dahil birim hacminin ağırlığıdır [18]. Agreganın granülometrisiyle boşluk miktarı değişmektedir. Boşluk miktarının az olması birim ağırlığı artırır. Agreganın tane şekli, yuvarlak, köşeli, yassı veya kusurlu olabilir. Kusurlu maddelerin fazla olması boşluğu arttırdığından birim ağırlığı düşürür. Agreganın mevcut nem durumu da birim ağırlığı etkiler [19]. Agregalar 4 farklı nem durumunda bulunurlar: tamamen kuru agregası (fırın kurusu), hava kurusu agregası, doymun-yüzeyi kuru agregası, ıslak agregası. Tamamen kuru durumda agregası boşluklarında hiç su yoktur. Hava kurusu durumda agregaların su geçirgen boşlukları kısmen su ile doludur, tanelerin yüzeyinde su yoktur. Doymun-yüzeyli kuru durumda, agregaların su geçirgen boşlukları tamamıyla suyla doludur, tanelerin yüzeyinde su yoktur. Islak durumda ise agregaların su geçirgen boşlukları tamamıyla suyla doludur ve

tanelerin üzerinde bir miktar su filmi vardır [15]. Şekil 2.2’de 4 farklı nem durumuna ait görsel verilmiştir.



Şekil 2.2: Agregaların mevcut nem durumları.

Agreganın nem durumu belirlenerek beton karışımındaki malzeme oranları hesaplanmalıdır. Aksi halde karışıma gereğinden fazla su girebilir ve beton dayanımında düşüş gözlemlenir.

Kompasite doluluk oranı olarak ifade edilir. Bir başka deyişle birim hacmindeki tanelerin işgal ettiği gerçek hacimdir (birim ağırlık/özellik ağırlık). Birim ağırlık daima özgül ağırlıktan küçük için kompasite 1'den küçük değer olarak bulunur [20]. Agregat yığnında bulunan tanelerin oranlarının belirlenmesine-agregaların boyutlarına göre gruplandırılmasına granülometri denir [16]. Betonda boşluk miktarının az olması dayanım için oldukça önemlidir. Az boşluklu beton üretmek için agregat granülometrisinin iyi ayarlanması gerekir. Beton karışımında, çimento ince agreganın boşluklarını doldururken, ince agregat da iri agreganın boşluklarını doldurmalıdır. İncelik modülü, agreganın incelik veya kalınlığını izah eden uluslararası bir deyimdir. Birbirini iki kat olarak takip eden elek setlerinde elek üzerinde kalan malzemelerin kümülatif %'ler toplamının yüze bölünmesi ile elde edilen değerdir. [21].

Agregaların başlıca mekanik özellikleri; aşınma dayanımı, basınç dayanımı ve donma dayanımıdır. Bir malzemenin sürtünmeye karşı gösterdiği dirence aşınma dayanımı denir. Beton, özellikle havaalanı, liman gibi yerlerin yüzeylerinde oldukça fazla aşınmaya maruz kalmaktadır. Betonun aşınmaya karşı direçli olması için agregaların da dayanıklı olması gerekmektedir [22]. Malzemenin basınç gerilmelerine karşı gösterdiği dirence basınç dayanımı denir. Betonda çok kullanılan agregaların basınç dayanımı ortalama 150 – 200 MPa dolayındadır. Bazı kayaların basınç dayanımları: granit 200 MPa, kalker 160 MPa, çakmaktaşı 210 MPa, kuvars 330 MPa, kumtaşı 130 MPa [23]. Malzemenin donmaya karşı gösterdiği ise dirence donma dayanımı denir. Türk standartlarında

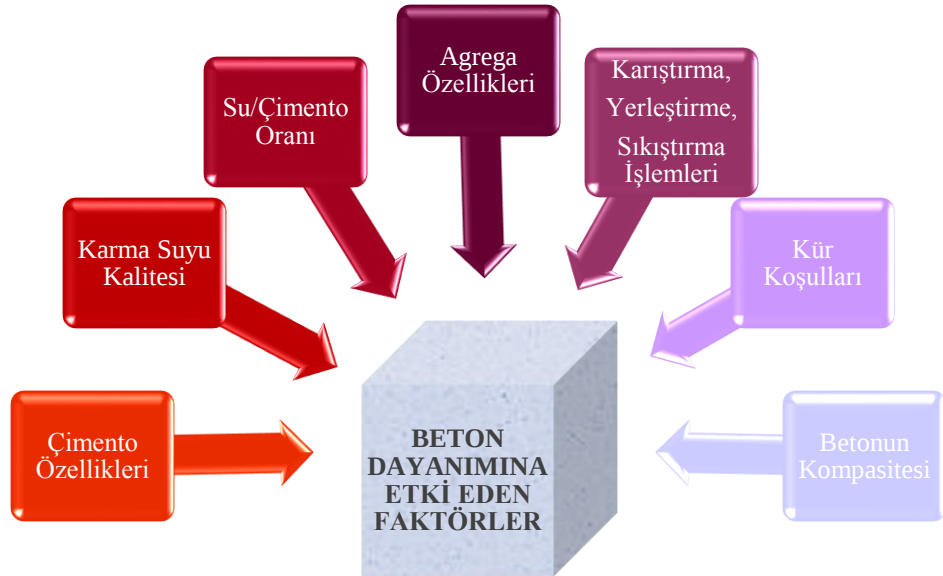
agregaların aşınmaya, basınca, donmaya karşı dayanıklı kabul edilmesi için gereken koşullar detaylı olarak bulunmaktadır.

#### 2.1.1.4. Katkı maddeleri

Beton katkı maddeleri, işlenebilirlik, sağlamlık veya başlangıç mukavemeti ya da son mukavemet gibi belirli özellikleri geliştirmek amacıyla, beton karıştırma sırasında eklenen doğal ya da kimyasal ürünler veya katkı maddeleridir. [24]

### 2.2. Beton Dayanımına Etki Eden Faktörler

Beton üretimi sırasında yapılan çeşitli hatalar ve ihmaller beton dayanımını olumsuz etkilemektedir. Betonun yük altında kırılması, çimento hamurunun veya agregaların yeterli dayanıma sahip olmaması yada aralarındaki aderansın yeteri kadar kuvvetli olmamasından kaynaklanmaktadır. Agregaların yeterli dayanımda olduğu varsayımı yapılırsa, çimento hamurunun da yeterli dayanımda olması, hidrasyon tepkimeleri sonucu oluşan kalsiyum-silika-hidrat (C-S-H) jellerini artırıp kapiler boşlukları azaltırken bir yandan da agrega taneleri arasındaki aderansı kuvvetlendirir. [15] Fakat betonun, tasarımda hedeflenen dayanımda olmasını sağlayan koşullar bunlardan ibaret değildir. Beton dayanımına etki eden faktörler Şekil 2.3'te verilmiştir.



Şekil 2.3: Beton dayanımına etki eden faktörler.

### **2.2.1. Çimento özelliklerinin dayanıma etkisi**

Kızdırma kaybı, çözünmeyen kalıntı miktarı,  $SO_3$  miktarı, hacim genişlemesi, klorür miktarı, çimentonun inceliği, çimentonun ana bileşenleri, dozaj ve çimento tipi betonun dayanımına etki eden çimentodan kaynaklı faktörlerdir.

#### **2.2.1.1. Kızdırma kaybı**

Çimento numunesi,  $975 \pm 25$  °C'de kızdırılarak (ısıtılarak) bünyesindeki  $CO_2$  (karbondioksit) ve  $H_2O$  (su) uzaklaştırılır. Ağırlık kaybı oranı ile kızdırma kaybı hesaplanır. Beklemiş ve rutubet almış çimentoda kızdırma kaybı değeri yüksek çıkar [25]. TS 197-1'e [17] göre CEM I/III tipi çimentolar için max %5 olmalıdır. Çimentonun tazeliğini gösteren parametredir.

#### **2.2.1.2. Çözünmeyen kalıntı**

Kimyasal analizde HCl (hidroklorik asit) ile çözünemeyen içeriğin yüzdesini belirtir [25]. Çimentonun fırın içi reaksiyonlarının tamamen gerçekleşip gerçekleşmediğini gösterir. TS 197-1'e [17] göre CEM I/III tipi çimentolar için max %5 olmalıdır.

#### **2.2.1.3. $SO_3$ miktarı**

Çimentonun içinde yer alan kükürt miktarını gösterir. TS 197-1'e [17] göre dayanım sınıfına göre %3.5-%4 olmalıdır. Aksi halde betonun içine giren yüksek sülfat, etrenjit oluşumuna sebebiyet verir.

#### **2.2.1.4. Hacim genişmesi**

Çimento içindeki MgO kaynaklı hacimsel genişlemeyi belirtir. TS 197-1'e [17] göre CEM I/III tipi çimentolar için max %10 olmalıdır. Betonun genişleyip çatlamasını önlemek için önemlidir.

#### 2.2.1.5. Klorür miktarı

Çimentonun içindeki Cl miktarını gösterir. TS 197-1'e göre tüm çimentolar için max %0.1 olmalıdır. Aksi halde betonlu sistemlerde donatı korozyonuna sebebiyet verir.

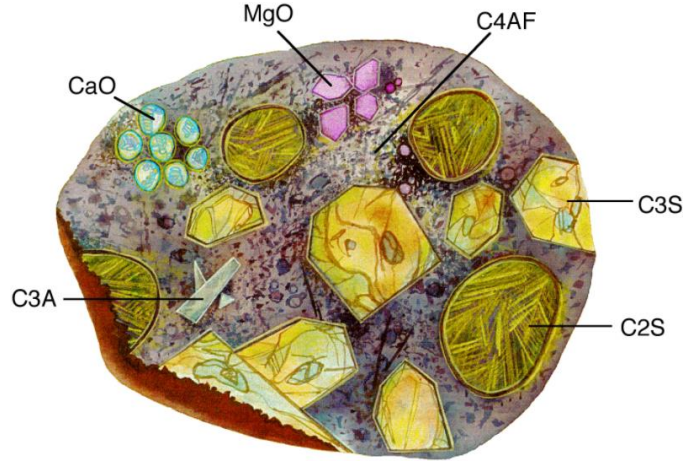
#### 2.2.1.6. Çimentonun inceliği

Belirli bir ağırlıktaki “klinker + alçıtaşı” ne kadar ince taneli olarak öğütülürse, elde edilen çimento tanelerinin yüzeylerinin toplamı o kadar artmaktadır. Böyle bir durumda, su ile temas eden tanelerin yüzeyi daha fazla olmakta, kimyasal reaksiyonlar daha hızlı ve daha iyi gelişebilmektedir [15]. İncelik artıkça çimento tanelerinin yüzey alanı artar ve çimentonun su ile hidratasyonu hızlanır, bu durum betonun erken yaşta mukavemetinin artmasını sağlar. Betonun terlemesi azalır, dayanım artar. Hidratasyon ısısı artar dolayısıyla rötre çatlaklarının oluşma eğilimi artar. Çimentonun ıslanması için gereken su miktarı artar. İnce çimento, nemden daha çabuk etkilenir, kolay bozulur. Depolama koşullarına dikkat edildiği takdirde bağlayıcılığı, kalın çimentolara göre yüksektir.

#### 2.2.1.7. Çimentonun ana bileşenlerinin etkisi

Çimentonun ana bileşenleri priz hızı, hidratasyon ısısı, hidratasyon hızı ve bağlayıcılık gibi özelliklere etki etmektedir. Şekil 1.11'de çimentonun içinde bulunan bileşenler görsel olarak verilmiştir.  $C_3S$ , priz sürelerini, erken ve nihai dayanımı etkiler.  $C_3S$  yüzdesi arttıkça çimentonun ilk yaşlardaki dayanımı daha yüksek olur.  $C_2S$ 'nin reaksiyona girmesi yavaştır ve genel olarak bir haftadan sonraki dayanımda etkilidir.  $C_3A$ 'nin erken yaşlardaki dayanım gelişimi üzerine etkisi çok azdır. Reaksiyonda ilk çözünen bileşendir, büyük miktarda ısı artışına neden olur.

Klinkerin öğütülmesi sırasında katılan alçıtaşı  $C_3A$  'nın hidratasyon hızını yavaşlatır. Alçıtaşı ilave edilmemiş  $C_3A$  'lı bir çimento hızla katılaşır.  $C_3A$  yüzdesi düşük çimentolar özellikle sülfat ihtiva eden su ve zemine karşı dayanıklıdırlar.  $C_4AF$ , klinkerleşme sıcaklığını düşürerek çimento üretimine etki eder. Çimentoya rengini veren bileşendir [27]. Şekil 2.4'te çimentonun ana bileşenlerine ait görsel verilmiştir.



Şekil 2.4: Çimentonun ana bileşenleri [28].

#### 2.2.1.8. Dozaj

1 m<sup>3</sup> beton için gereken çimento miktarına dozaj denir. Dozaj artıkça dayanım artar. Bir beton kütlesi, çimento, su ve havadan oluşan bağlayıcı hamur ile agreganın iç içe girmesinden oluşmaktadır. Beton kütlesindeki agregat taneciklerinin yeterli sağlamlıkta (dayanımda) oldukları varsayılırsa, bağlayıcı hamurun agregat tanecikleri arasındaki boşlukları doldurucu yeterlilikte ve sağlamlılıkta olmasının betonun dayanımı üzerindeki etkisi ortaya çıkar. Nitekim, basınç altındaki beton kütlesi en zayıf yeri olan bağlayıcı hamurundan kırılmaktadır ki, bağlayıcı hamurun güçlendirilmesi doğrudan betonun güçlendirilmesidir. Bağlayıcı hamurun yeterliliğinin ve sağlamlılığının diğer faktörlerin yanı sıra önemli ölçüde içindeki çimento miktarına bağlı olduğu bilindiğine göre, belli bir kritik değere kadar betonun içerisinde çimento miktarı arttıkça betonun dayanımı da artacaktır. [29]

#### 2.2.1.9. Çimento tipi

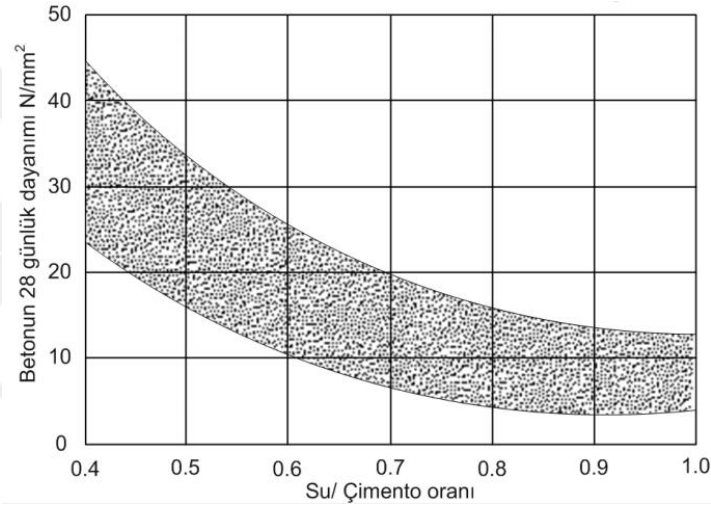
Çimento tipine bağlı olarak kullanım alanları değişmektedir. Beton tasarım yapılırken bu hususa dikkat edilmelidir. Örneğin sülfat etkisindeki betonda harçlarda kullanılan bir çimento türünü kullanılması betonun geçirimsizliğini etkileyerek dayanımın düşmesine sebep olmaktadır.

### 2.2.2. Suyun dayanıma etkisi

Su/çimento oranı, karma suyu kalitesi ve temas suyu tedbirleri betonun dayanımını suya bağlı olarak etkileyen faktörlerdir.

#### 2.2.2.1. Su/çimento oranı

Beton bünyesine giren fazla su, boşluk miktarını artmasına sebep olup dayanımı düşürmektedir. Şekil 2.5'te görüldüğü üzere su/çimento oranı arttıkça beton dayanımı düşmektedir.



Şekil 2.5: S/Ç oranının beton dayanımına etkisi [30].

Beton karışımında suyun gereğinden az olması mukavemeti etkileyen bir faktördür. Suyun az olması durumunda karışımda bulunan çimento taneleri tamamen ıslanmaz ve hidratasyon tepkimelerinin yeterli düzeyde gerçekleşmemesi sonucu dayanım düşer. Tasarımda, beton için en yüksek dayanımı veren su miktarı yani optimum su miktarı kullanılmalıdır. Tablo 2.2'de optimum değere göre su miktarındaki değişimin mukavemete etkisi verilmiştir.

Tablo 2.2: Su miktarına bağlı mukavemetteki azalma değerleri [16].

| Optimum değere göre su miktarı | Mukavemetteki azalma |
|--------------------------------|----------------------|
| %10 eksik olması               | %10                  |
| %20 eksik olması               | %60                  |
| %20 fazla olması               | %30                  |
| %30 fazla olması               | %50                  |
| %100 fazla olması              | %80                  |

#### 2.2.2.2. Karma suyu kalitesi

Beton için en ideal karma suyu, organik maddeler, kil, silt, yağlar, asitler, tuzlar gibi zararlı maddeler içermeyen içilme kalitesinde olan sudur.

Kil ve silt gibi maddelerin %0,2'den fazla olması işlenebilirliği azaltmakta ve su ihtiyacını artırmaktadır. Bu durum ise sertleşmiş betonun büzülmesini artırarak dayanım ve dayanıklılığını düşürmektedir. Karışım suyunda bir miktar humusun veya nebat liflerinin yer alması durumunda, bu maddelerin içerdiği tannik asit, taze betonun priz sürelerini geciktirmekte ve sertleşmiş betonun basınç dayanımını azaltmaktadır. Karışım suyunda bulunan şeker miktarı çimentonun priz süresini etkilemektedir. O nedenle, sudaki şeker miktarının %0.05'den fazla olması istenmemektedir. Yosunlu sular betonun içerisine çok fazla hava sürüklenmesine ve dayanımın düşmesine sebep olmaktadır. Alkali karbonatlar ve bikarbonatlar çimento hamurunun priz süresini etkilemektedir. Sodyum karbonatlar ise priz süresini kısaltarak ani prize yol açabilmektedir. Klor iyonları betonarme yapılarıdaki demir donatının korozyonuna yol açmaktadır. Mümkün olduğunca karışım suyu az klor içermelidir. Çimento ana bileşeni  $C_3A$  ile sülfat arasındaki reaksiyonlar sonucu çok büyük genleşme kapasitesine sahip etrenjitler oluşmakta ve beton çatlayıp kırılabilmektedir. Fosfat, arsenat, borat, demir tuzları gibi tuzların karışım suyu içerisinde bulunması taze betonun prizinin gecikmesine sebebiyet vermektedir. Karışım suyunda çeşitli asitlerin bulunması çiçeklenme olayına sebep olmakta ve betonun gözenekliliğini artırarak dayanımı düşürmektedir. Ayrıca asitler çimento hamuruna dayanım sağlayan kalsiyum-silika-hidrat ürünlerinin bir miktar çözünmesine yol açarak da beton dayanım ve dayanıklılığını olumsuz etkilemektedir. Fazla miktarda sodyum hidroksit, potasyum hidroksit içeren alkalimli sular, reaktif agregalar içeren betonlarda, alkali agrega reaksiyonuna sebep olmaktadır. Bu reaksiyon sonucu büyük genleşmelere yol açan alkali silika jellerinin oluşup sertlenmiş betonun dayanıklılığı düşmektedir [15].

#### 2.2.2.3. Temas suyu tedbirleri

Sertleşmiş beton büyük bir mekanik mukavemete sahiptir ve dış zorlamalardan ziyade zararlı maddelerin kimyasal tesiri ile tahrip olur. Temas suyunun kimyasal etkisi: Suda mevcut zararlı madde konsantrasyonu, betonun bünyesi ve bileşimindeki unsurların

oranı, kullanılan çimento ve agrega tipi, suyun betonla temas müddeti ve temas sahası faktörlerine bağlıdır [16].

İnşaata başlamadan önce, beton ile temas edecek olan suyun kimyasal analizi yapıp gerekli koruyucu tedbirler alınmalıdır. Temas suyu olarak betona etkili sular, betonu kimyasal yönden etkileyerek onun başta mukavemet olmak üzere diğer özelliklerini olumsuz yönde etkileyerek kalitesini düşürür ve hizmet süresini azaltır [31].

### **2.2.3. Karıştırma, yerleştirme, sıkıştırma işlemleri**

Betonun gereğinden az karıştırılması, betonda homojenliğin sağlanamaması sonucunu doğurur. Gereğinden fazla karıştırma ise homojenliği azaltmasının yanı sıra şu etkileri yaratır: İş verimliliği düşer; faydasız bir iş için gereksiz elektrik tüketilir; karıştırma süresinin artmasıyla betondan daha çok su buharlaşır ve işlenebilirlik zorlaşır; agrega dayanıksız bir malzeme ise karıştırma esnasında ufalanır ve betonun ince malzeme miktarının artması sonucu betonda işlenebilirlik kaybı ortaya çıkar [32]. Taze betonun taşınması ve yerleştirilmesi işlemleri segregasyona neden olmayacak ve betonun üniformitesini bozmayacak tarzda yapılmalıdır. Aksi halde, beton kesitindeki farklı bölgeler farklı özellikler göstermekte ve beton dayanımını olumsuz etkilemektedir [15].

Yerine yerleştirilen taze betonun içerisinde ister-istemez çok büyük boşluklar bulunmaktadır. Betonun o haliyle sertleşmesi durumunda oldukça düşük beton dayanımı elde edilmektedir. O bakımdan, yerine yerleştirilen taze betona uygun tarzda sıkıştırılma (vibrasyon gibi) yöntemlerin uygulanmasının ve betonun mümkün olabildiği kadar az boşluklu yerleştirilmesinin beton dayanımı üzerinde çok büyük etkisi olmaktadır [15].

### **2.2.4. Kür koşulları**

Beton karışım oranının uygun olarak saptanması, uygun şekilde işlenip sıkıştırılmasından başka, sertleşmekte olan betonun kürü de kalitesini büyük ölçüde etkilemektedir. Betonun basınç dayanımı, donma ve çözünme olayına karşı dayanıklılığı, su geçirimsizliği, aşınma direnci ve hacim sabitliği gibi özellikleri çimentonun hidratasyonu için uygun koşullarda bekletildiği sürece gelişir [16]. Ortam koşulları çimentonun hidratasyonu için uygun olduğu takdirde, beton zamanla dayanım kazanmaya devam eder. Dayanım hızı erken yaşlarda yüksektir, beton zamanla dayanım kazanmaya devam etmektedir [32].

### **2.2.5. Betonun kompasitesi**

Betonun kompasitesi ile 1 m<sup>3</sup> betonda katı cisimlerin yani çimento, kum ve iri agraganın işgal ettikleri m<sup>3</sup> cinsinden gerçek hacimlerin toplamı anlaşılmaktadır. Kompasitenin küçük olması betondaki boşlukların (bu boşluklar kısmen su ve kısmen hava ile doludur) büyük olması gerekir. Boşlukların veya porozitenin büyük olmasının mukavemeti azalttığı ise yapı malzemesinin en önemli kanunlarından biridir. Betondaki boşluklar genellikle iri agregâ ile çimento hamuru arasında meydana gelmekte, bu durum bu iki cisim arasındaki aderans kuvvetini önemli derecede azaltmaktadır. Çimento hamuru ile agregâ taneleri aderansın arasındaki küçülmesi ise betonun mukavemetini büyük ölçüde düşürmektedir. Bir beton kompasitesi belirli bir değerin altına düşmemek koşulu ile mümkün olduğu kadar fazla miktarda iri agregâ ve mümkün olduğu kadar az miktarda kum kullanılarak üretilmelidir [33].

### **2.2.6. Agregâ özelliklerinin dayanıma etkisi**

Agregalarda aranılan genel özellikler şu şekildedir: Agregalar, sert, sağlam, aşınmaya dayanıklı, su etkisiyle yumuşamayan ve dağılmayan, donmaya karşı dayanıklı olmalıdır. Çimento bileşenleriyle zararlı bileşikler meydana getirmemeli ve donatının korozyona karşı korunmasını tehlikeye düşürmemelidir. Tane büyüklükleri ve dağılımı kullanım amacına uygun olmalıdır. Agregaların şekilleri ve yüzey dokusu iyi olmalıdır.

Çakıllarda ana kaya az boşluklu olmalıdır. Çakıllarda yabancı madde oranı olarak, toprak %5, kömür %1, kil; iri agregâda %0,25, ince agregâda %5, silt ise %1'den fazla olmamalıdır [15].

#### **2.2.6.1. Agregâ dayanımının etkisi**

Beton yapımında kullanılan agregalar, genellikle sert ve dayanımı oldukça yüksek malzemelerdir. Agregâ dayanımının yüksek olması, beton dayanımının da yüksek olmasına katkıda bulunmaktadır. Sert ve dayanıklı agregalar, betonun aşınmaya karşı veya çevreden gelebilecek diğer yıpratıcı etkilere karşı daha dayanıklı olabilmesine yardımcı olmaktadır [14].

#### **2.2.6.2. Agreg a granülom etrisinin etkisi**

Agreg a gradasyonu, taze betonun kolayca karıştırılabilme, ayrışım yapmadan kolayca taşınıp yerleşebilme ve sıkıştırılabilme özelliğini kısacası betonun işlenebilirliğini önemli ölçüde etkiler [34]. Bilindiği gibi çimento hamuru, beton karışımında yer alan agreg a tanelerinin yüzeyini kaplamakta ve aralarındaki boşluğu doldurmaktadır. İyi bir gradasyona sahip ve yoğunluğu yüksek olan agreg alarla yapılan beton, daha yüksek dayanıma sahip ve daha ekonomik olmaktadır. Ayrıca gradasyonun iyi olmaması işlebilirliği etkilemekte ve su/çimento oranını yükseltip dayanımı düşürmektedir.

#### **2.2.6.3. Agreg anın nem durumunun etkisi**

Agreg anın rutubetli olması beton üretiminde iki bakımdan göz önünde tutulmalıdır. Birincisi betona konulacak su miktarı, agreg ada bulunan su miktarı kadar azaltılmalıdır. Rutubetli agreg alarda hesaba katılacak ikinci önemli faktör rutubetin hacim kabarmasına neden olmasıdır. Burada söz konusu olan taneler arasındaki boşluğu da içine alan görünen hacimdir. Yalnız ince agreg alarda yani kumlarda rastgelinen bu olay hesaba katılmaz ise gerekli miktardan daha az miktarda kum kullanılmış olur. Bunun sonucunda boşluk miktarı fazla olan bir beton elde edilir veya daha az miktarlarda beton üretilmiş olur [33].

#### **2.2.6.4. Maksimum tane büyüklüğünün etkisi**

Beton yapımında kullanılması mümkün olan en yüksek maksimum agreg a tane boyutunun kullanılması sonucunda elde edilecek yararlar şu şekilde özetlenebilmektedir [15]: Beton karışımının su ihtiyacı azalmaktadır. Dolayısı ile daha az su içeren bir betonda daha az büzülme yer almaktadır. Beton karışımının çimento ihtiyacı azalmaktadır. O bakımdan, ekonomiklik sağlanmaktadır. Betonun hidratasyon ısısı azalmaktadır. Kütle betonlarında hacim değişikliği azalmaktadır. Sabit bir işlenebilme için ve sabit bir çimento miktarı ile yapılacak betonun su/çimento oranı azalmaktadır. Böylece daha yüksek dayanım elde edilebilmektedir.

#### **2.2.6.5. Agregada zararlı madde bulunması**

Agregada zararlı-maddelerin (organik maddeler, ince maddeler, kil topakları yumuşak maddeler) bulunması, sık karşılaşılan bir problemdir. Organik maddeler, (bitki artıkları vb.) barındırdıkları asitler nedeniyle çimento hidratasyonuna zarar vermekte, prizi yavaşlatmakta ve ilk günden itibaren beton dayanımını düşürmektedir. Çiçeklenme ve korozyona sebebiyet vermektedirler. İnce maddeler ve kil topakları, karışım için gerek su miktarını artırarak betonu gözenekli hale getirmekte ve dayanımı düşürmektedir. Bu tür maddeler iri agregaların yüzey alanını kaplayarak çimento hamuru ile aderansını zorlaştırmaktadır. Hidratasyonu ve prizi de geciktirmektedirler. Yumuşak madde (hayvan kabukları, fosil, kömür vb.) miktarı artırsa beton dayanımı düşmektedir. Bu maddelerin mukavemetleri çok düşüktür, su miktarının azalması ile hacimlerinde büyük değişiklikler olur. Şeker vb. gibi maddeler, betonun prizini geciktirici etki yapar. Nitrat gibi tuzlar, donatının korozyonuna yol açan olumsuz etkiler meydana getirebilir [35]. Reaktif silika veya reaktif karbonat içeren bazı agregalar ise zamanla betonun içerisindeki alkalilerle reaksiyona girebilmekte ve çok büyük genleşmelere yol açabilmektedir [15]. Bu olay sonucunda beton çatlamakta ve dayanım kaybetmektedir.

#### **2.2.7. Deniz kumu ve deniz kabuğu etkisi**

Ülkemizin etkin deprem kuşağı etkisinde olması yapıların güvenirliliği açısından büyük önem arz etmektedir. Büyük 1999 Marmara depremi sonrasında, özellikle kıyı kesimlerinde bulunan bölgelerde, eski yapı stokunun güvenirliliği tartışılır hale gelmiştir. Geçmiş yıllarda denize yakın bölgelerde inşaa edilen yapılarda kullanılan betonun, karışımında deniz kabuğu ve deniz kumu kullanımının beton dayanımına etkisi toplumda büyük bir endişe oluşturmuştur [36].

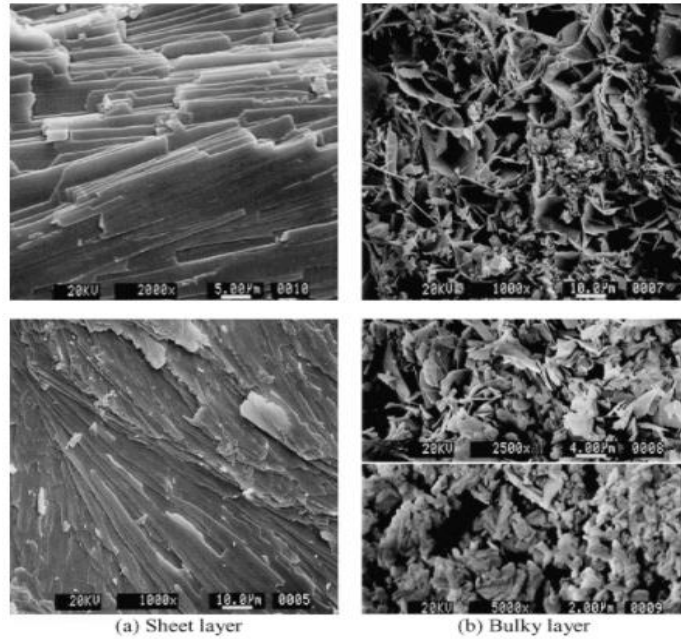
##### **2.2.7.1. Deniz kumu etkisi**

Çağatay, yapmış olduğu bir araştırmada deniz kumunun beton yapımı için çok ince olduğunu, deniz kumunun tane boyutu dağılımı açısından iyi kalitede beton yapmak için tek başına yeterli olmadığını tespit etmiştir. Deniz kumu ve nehir kumunun iyon içeriğini de incelediği bu çalışmada deniz kumundaki klorür iyonları nehir kumunun 20 katından fazla olduğunu gözlemlemiştir [12]. Betonarmede, çeliğin korozyona

uğramasının en önemli nedeni betondaki klorür iyonlarının varlığıdır [37]. Çelik çubuklara yapılan klorür saldırısı, bir betonarme yapı elemanı üzerinde iki yönlü bir hasara neden olur: (1) net kesit alanı azalır ve korozyon çelik çubuğun çekirdeğine kadar devam edebilir, (2) beton yüksek kalitede olsa bile bağlanma gücü önemli ölçüde düşebilir [12].

#### 2.2.7.2. Deniz kabuğu etkisi

Deniz kabukları dayanımı düşük organik maddelerdir, bu yüzden beton dayanımını da olumsuz etkiledikleri tahmin edilmektedir. Genel olarak deniz, kabukları (midye, istiridye gibi çift kabuklular), dış katman periostracum, kalsiyum karbonat kristalleri içeren orta katman ve en içte sedef tabakasından oluşmakta [38-39] ve deniz kabuklarının yapısını %95'den fazla  $\text{CaCO}_3$  oluşturmaktadır [40-41]. Şekil 2.6'da bir istiridye kabuğunun tabakaları elektron mikroskobu ile çekilmiş görüntüsü verilmiştir. Yapılan araştırmalar deniz kabuklarının pul pul, yassı ve gözenekli partiküler yapısının betonun su ihtiyacını artırdığını, harcın işlenebilirliğini değiştirdiğini, betonun boşluk miktarını artırdığını ve bağlayıcı ile agrega arasındaki aderansı azaltıp beton dayanımını düşürdüğünü göstermiştir [40-42].



Şekil 2.6: Bir istiridye kabuğuna ait SEM mikrografları [43].

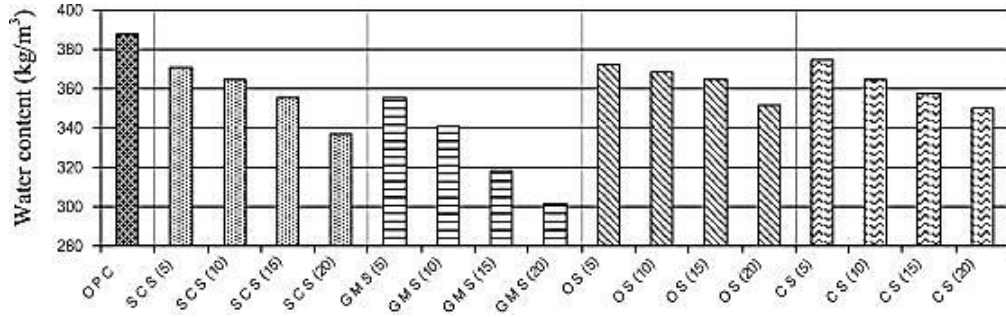
### BÖLÜM 3. LİTERATÜR TARAMASI

Literatürde inşaat mühendisliğinde deniz kabuklarının kullanımı ile ilgili deniz kabuklarının harçlarda kullanımı [44-46], çimento ikamesi olarak kullanımı [47-52], ince agrega ikamesi olarak kullanımı [53-55], iri agrega ikamesi olarak kullanımı [56,58] ve hem iri hem ince agrega ikamesi olarak kullanımı [42,59,61] başta olmak üzere farklı konularda pek çok çalışma bulunmaktadır. Ancak bu konuların araştırılmalarının genel amacı sürdürülebilirlik, çevre dostu beton üretimi, atık yönetimi yahut yeni malzeme arayışlarıdır. Literatürde, deniz kumundan beton üretimi üzerine de çeşitli çalışmalar yapılmıştır [62,63] ancak yıkanmamış deniz kumunun ve deniz kabuklarının dayanıma etkilerine yönelik etkilerine çalışmalar [36] yok denecek kadar azdır. Bu tez kapsamında, çalışma konusuna yakın çalışmalar incelenmiş ve aşağıda özetlenmiştir.

Lertwattanakul ve arkadaşları 2012 yılında [44]; duvarcılık ve sıva için bir çimento ürünü geliştirmek amacıyla kısa boyunlu deniz tarağı kabuğu, yeşil midye kabuğu, istiridye kabuğu ve midye kabuğu olmak üzere dört tip atık deniz kabuğunu deneysel olarak incelemişlerdir. İncelenen parametreler arasında su ihtiyacı, priz süresi, basınç dayanımı, kuruma büzülmesi ve harçların ısı iletkenliği bulunmaktadır. Bu özellikleri, geleneksel Portland çimentosundan yapılmış bir kontrol harcı ile karşılaştırmışlardır. Deniz kabuklarını, ağırlıkça %5, %10, %15 ve %20 oranlarında çimento yerine ikame etmişlerdir. Kısa boyunlu deniz tarağı kabuğunu SCS(X), yeşil midye kabuğunu GMS(X), istiridye kabuğunu OS(X) midye kabuğunu CS(X) olarak; Portland çimentolu harcı ise OPC olarak isimlendirmişlerdir (X ikame oranını temsil etmektedir).

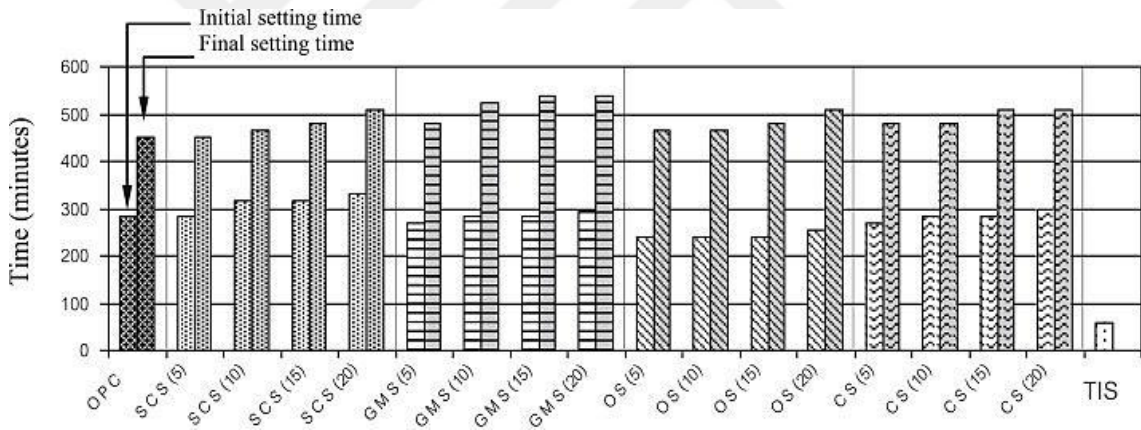
Portland çimentosunun yerini alan öğütülmüş kabukların oranı arttığında, çimento harcının akış değerinde bir artış olduğunu belirlemişler. Bunun sebebini ise çimentonun öğütülmüş deniz kabukları ile değiştirilmesi, çimentolu malzeme miktarını azaltıp ve karışımdaki serbest su içeriğini artması olarak yorumlamışlardır. Şekil 3.1’de kabuk

miktarı arttıkça harcın su ihtiyacının azaldığı görülmektedir. Deniz kabuğunun eklenmesinin, harcın su ihtiyacını azaltıp işlenebilirliği iyileştirdiğini belirtmişlerdir.



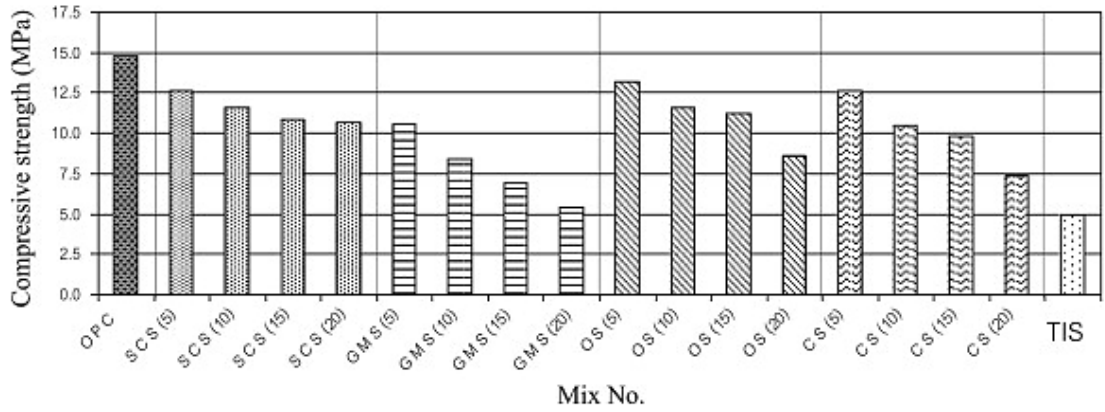
Şekil 3.1: Su içeriği-beton türleri grafiği [44].

Portland çimentosunda öğütülmüş deniz kabuklarının ikame oranı arttığında, priz başlangıç sürelerinde bir artış olduğunu tespit etmişlerdir (Şekil 3.2). Bunun sıcak iklimlerde yığma inşaat ve sıvama için önemli bir avantaj olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 3.2: Başlangıç ve bitiş priz süresi-beton türleri [44].

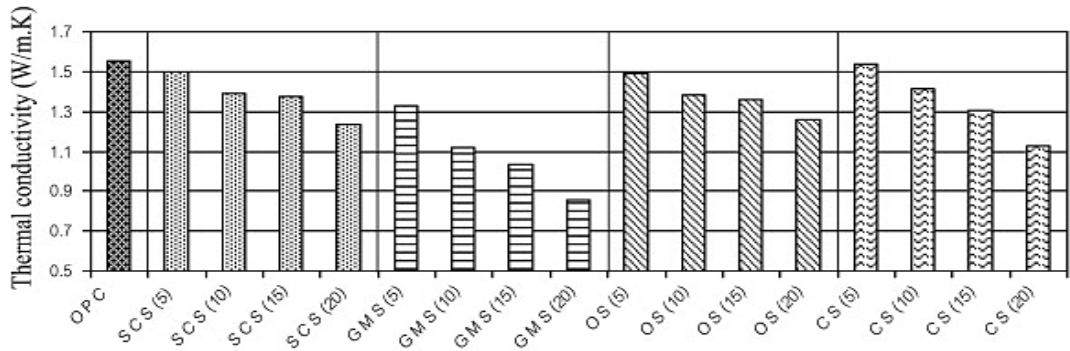
Öğütülmüş kısa boyunlu istiridye, istiridye ve midye kabuklarının yer değiştirme yüzdesinin artırılması, harçların basınç dayanımını düşürme eğiliminde olduğunu tespit etmişlerdir. Bunun nedenini az reaktif olan öğütülmüş deniz kabuğu malzemesinin Portland çimentosu ile karıştırılması olarak açıklamışlardır. Deniz kabuğu içeren harçların basınç dayanımları, artan kürlenme süresi ile tutarlı bir şekilde arttığı, yeşil midye (GMS) ile karıştırılan harçların basınç dayanımların, daha yüksek Portland çimentosu ikamesi ile azaldığı Şekil 3.3'te görülmektedir. Bunun nedenini ise öğütülmüş yeşil midyenin partikül boyutunun, Portland çimentosununkinden biraz daha büyük olmasına bağlamışlardır.



Şekil 3.3: 28 günlük basınç dayanım grafiği [44].

Yaptıkları büzülme testine göre Portland çimentosunun öğütülmüş kısa boyunlu deniz tarağı ve öğütülmüş istiridye ile ikame edilmesi kontrol harcı ile karşılaştırıldığında harçların kuruma büzülmelerinin azalmasına sağladığını ancak öğütülmüş yeşil midye ve öğütülmüş midye ile değiştirilmesi, kontrol harcı ile karşılaştırıldığında harçların kuruma büzülmelerinin artmasına neden olduğunu tespit etmişlerdir. Bunun nedenini ise öğütülmüş midye kabuklarının inceliğinin Portland çimentosunun inceliğinden fazla olmasından dolayı partiküllerin, çimento partikülleri arasındaki boşluğa yerleşemeyip iç boşluğu artırması olarak yorumlamışlardır.

Isıl iletkenlik testine göre ise deniz kabuklarının yer değiştirme yüzdesinin arttırılmasının, daha düşük özgül ağırlık nedeniyle harçların ısı iletkenliğini düşürme eğiliminde olduğunu tespit etmişlerdir (Şekil 3.4). Bunun nedenini deniz kabuklarının dahil edilmesinin, daha düşük bir harç yoğunluğu ile daha fazla gözeneklilik elde edilmesi olarak açıklamışlardır. Daha düşük ısı iletkenliğine sahip malzemelerin daha iyi ısı yalıtımı sağladığını belirtmişlerdir.



Şekil 3.4: Termal iletkenlik-beton türleri grafiği [44].

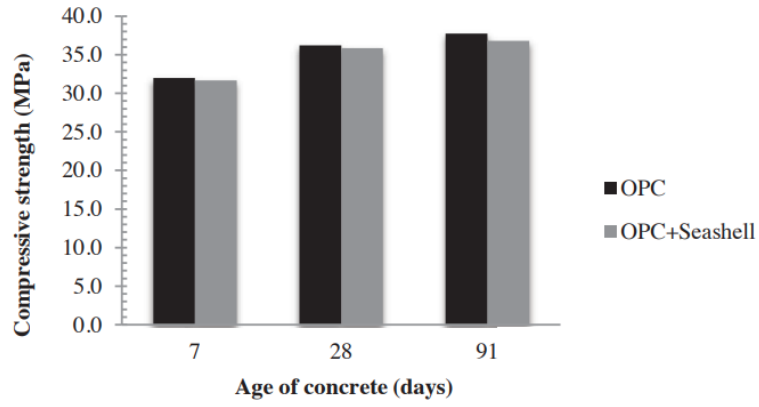
Genel performans için, yüksek hacimli öğütülmüş kısa boyunlu istiridye içeren harçlar, nispeten düşük karışım suyu gereksinimi, artan priz süresi, iyi basınç dayanımı , daha düşük kuruma büzülmesi ve termal iletkenliğin az olması gibi özelliklerinden dolayı diğer deniz kabuklarına kıyasla daha optimum özellikler verdiğini tespit etmişlerdir. Öğütülmüş deniz kabuklarının harç karışımlarında çimento yerine kullanılabileceği sıva harcının işlenebilirliğini iyileştirebileceğini sonucuna ulaşmışlardır.

Olivia ve arkadaşları 2015 yılında [49]; deniz kabuğu betonunun basınç dayanımını araştırmak için kısmi çimento ikamesi olarak öğütülmüş midye deniz kabuğu kullanmışlardır. Deniz kabuğu betonunun basınç, çekme, eğilme dayanımı ve elastisite modülü gibi mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Deniz kabuklu beton ile (OPC +Seashell) normal Portland (OPC) çimentolu betonu karşılaştırmışlardır. Kısmi çimento ikamesi olarak ağırlıkça %2, 4, 6, 8 oranlarında öğütülmüş midye deniz kabuklarını kullanmışlardır. Öğütülmüş deniz kabuklarını, 200 nolu elek kullanarak yakarak, ezerek, öğüterek hazırlamışlardır. Öğütülmüş deniz kabukları içeren betonlarda %4 midye kabuğu oranına sahip numuneler optimum dayanımı göstermiş bu yüzden sonraki karşılaştırmalarda bu ikame oranını kullanmışlardır (Tablo 3.1).

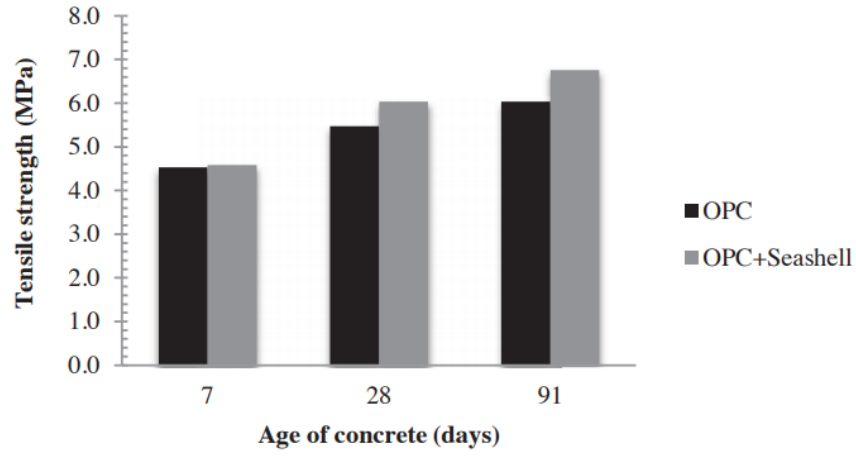
Tablo 3.1: Beton deneme karışımlarının dayanımı [49].

| Deniz kabuğu yüzdesi | Basınç dayanımı (MPa) |
|----------------------|-----------------------|
| %2                   | 30,84                 |
| %4                   | 32,24                 |
| %6                   | 28,86                 |
| %8                   | 30,56                 |

Hem normal betonda hem de %4 deniz kabuğu ikameli betonda, kür süresi (7, 28, 91 gün) arttıkça çekme ve basınç dayanımlarının arttığını gözlemlemişlerdir. Normal betonun basınç dayanımının deniz kabuklu betona nazaran yüksek çıkmasına karşın (Şekil 3.5) deniz kabuklu betonun çekme mukavemetin (Şekil 3.6) normal betona göre yüksek çıktığını tespit etmişlerdir. Bu durumun, deniz kabuğu ile güçlendirilmiş çimento hamurunun, agrega taneleri ile aderansının daha yüksek olmasından dolayı olduğunu belirtmişlerdir.

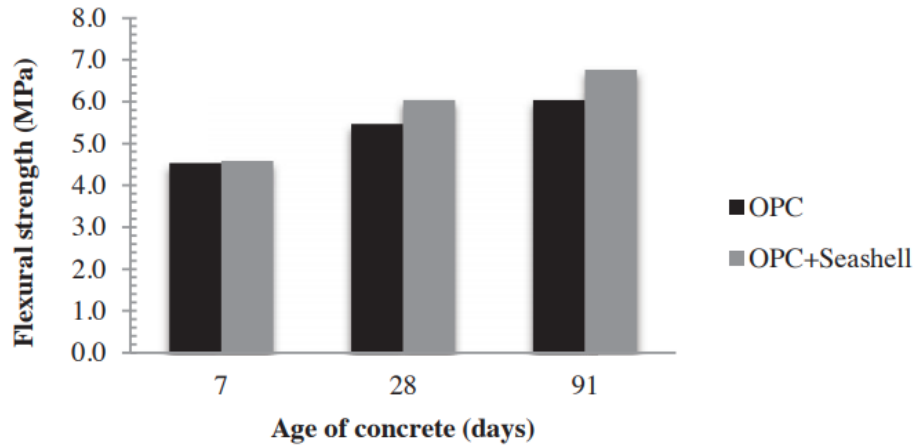


Şekil 3.5: Basınç dayanımı-kür süresi grafiği [49].



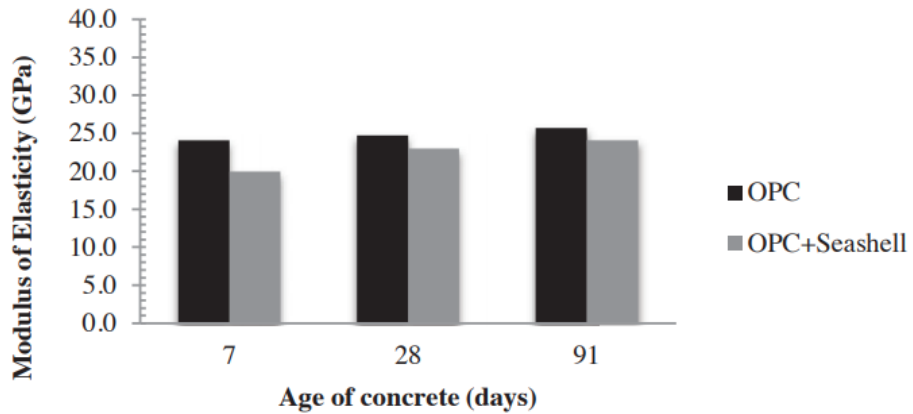
Şekil 3.6: Çekme Dayanımı-kür süresi grafiği [49].

Her iki numunenin de eğilme mukavemetinin kür süresi arttıkça arttığını ancak deniz kabuğu içeren betonların değerinin normal betonlardan daha yüksek çıktığını gözlemlemişlerdir (Şekil 3.7). Olivia ve arkadaşları bunun nedenini, çelik donatı çubukları ve beton arasındaki kompozit hareketi geliştirmek için faydalı olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 3.7: Eğilme dayanımı-kür süresi grafiği [49].

Deniz kabuğu betonunun Young elastisite modülünün, normal betondan daha düşük olduğunu ancak deniz kabuğu betonunun elastisite modülünün kür süresi arttıkça daha yüksek oranda arttığını tespit etmişlerdir (Şekil 3.8). Betonun elastisite modülünün çoğunlukla agrega ve çimento hamuru arasındaki ara yüzey geçiş bölgesine dayandığını, her iki faz arasında daha iyi bir bağ, daha iyi çekme özelliklerinin sağlanması ile deniz kabuğu betonunun elastikiyet modülünün iyileştirebileceğini belirtmişlerdir.



Şekil 3.8: Elastisite modülü-kür süresi grafiği [49].

Sonuç olarak deniz kabuklu betonun daha iyi çekme özellikleri verdiğini ama normal betonun daha yüksek basınç dayanımı ve elastisite modülüne sahip olduğunu tespit etmişlerdir.

Yang ve arkadaşları 2005 yılında [54]; atık istiridye kabuklarının geri dönüşüm olanaklarını araştırmak amacıyla ince agrega yerine istiridye kabuğunun beton özelliklerine etkisi üzerine deneysel bir çalışma yapmışlardır. Deniz kabuklarını etüvde

110  $\pm$  10 °C'de 24 saat kuruttuktan sonra sonra çeneli kırıcı kullanılarak 5 mm elekten geçecek şekilde toz haline getirmişlerdir ve %0, 5, 10, 20 oranlarında ince agrega yerine ikame olarak kullanmışlardır. Deneyleri, deniz kabuğunun kimyasal bileşenleri ve çimento hamuru ile reaktivitesini incelemek, taze betonun reolojik özelliklerini deniz kabuğunun ikame oranı ile karşılaştırmak ve deniz kabuğunun ikame oranı ile sertleşmiş betonun mekanik özelliklerini araştırmak olmak üzere 3 ayrı gruba ayırmışlardır. Aşağıdaki sonuçlara ulaşmışlardır:

Deniz kabuklarının bileşen analizi sonuçlarına göre az miktarda mineral ve organik materyal içeren kalsiyum karbonattan oluştuğunu belirlemişlerdir. İnce agrega olarak ikame edildiğinde, deniz kabuklarının kalsiyum karbonat bileşenlerinin çimento ile reaksiyona girip girmediğini değerlendirmek gerektiği için deneyler yapmışlardır. XRD (X ışını kırınım analizi) testine göre çimento ve deniz kabuğu arasındaki arayüzde dezavantajlı reaksiyonlar veya yeni malzemelerin oluşumunu tespit etmemişlerdir. Ancak elektron mikrdeniz kabuğukobu fotoğrafçılığı (SEM) ile yapılan deneyde deniz kabuğu ve çimento hidrat arasında dezavantajlı reaktivite olduğu tespit etmişlerdir. Deniz kabuklarında bulunan organik safsızlıklardan kaynaklanan potansiyel zararlar hakkında bir araştırma yapmışlar ve deniz kabuklarında bulunan az miktarda organik safsızlığın betondaki zararlı bileşenleri temsil etmediği sonucuna varmışlardır. Beton karışımında ezilmiş deniz kabuğu ikame edildiğinde, incelik modülü azalması ve ikame oranı artışı ile betonun işlenebilirliği azaldığını belirlemişlerdir. Priz süresinin, ince agrega ağırlığının maksimum %20'sine kadar deniz kabuğu ikamesinden etkilenmediğini belirlemişlerdir. Deniz kabuğu ile ikame edilen betonun elastik modülünün, deniz kabuğunun elastik modülü ince agreganınkinden daha küçük olmasından dolayı ikame değeri arttıkça azaldığını ve ince agrega %20 deniz kabuğu ile ikame edildiğinde elastik modül yaklaşık %10 azaldığını belirlemişlerdir. Basınç deneyi sonuçlarına göre deniz kabuğu ile ikame edilmiş betonun 28 günlük basınç dayanımını, normal betonun basınç dayanımına eşit veya daha fazla olduğunu, bazı durumlarda ise değişmediğini ve deniz kabuğunun betonun erken yaş dayanımında azalmaya neden olmadığı tespit etmişlerdir.

Yang ve arkadaşları 2010 yılında [55]; kumun kuru istiridye kabuğu ile kısmen değiştirilmesinin betonun uzun vadeli performansına etkisini de incelemişlerdir. Bir önceki deneylerin aksine deniz kabuğu ikamesi artıkça 28 günlük yaştan sonra uzun süreli

yaşlarda basınç dayanımının referans numuneye göre (%0) önemli ölçüde azaldığını görmüşlerdir. Her iki araştırmanın da sonuçlarının olduğu tablo Tablo 3.2’de verilmiştir.

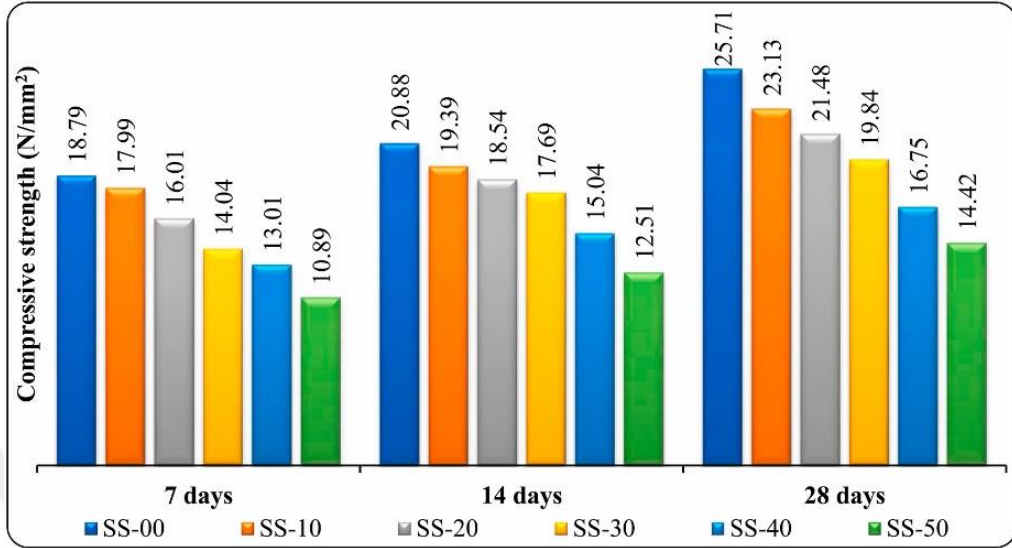
Tablo 3.2: Kür süresine bağlı dayanım değerleri (MPa) [55].

| Deniz kabuğu yüzdesi | 7 gün | 14 gün | 28 gün | 2 ay | 3 ay | 6 ay | 1 yıl |
|----------------------|-------|--------|--------|------|------|------|-------|
| %0                   | 25,8  | 29,2   | 29,3   | 33,7 | 33,9 | 38,8 | 40,6  |
| %10                  | 25,3  | 28,7   | 29,1   | 31,9 | 33,9 | 36,5 | 39,2  |
| %20                  | 25,0  | 29,6   | 29,6   | 31,2 | 30,0 | 34,3 | 37,2  |

Bamigboye, Odochi ve arkadaşları, 2020 yılında [58]; geri dönüşüme katkı sağlamak ve çevre dostu beton üretimine alternatif bir malzeme sunmak amacıyla atık senilia senilis deniz kabuklarını doğal iri agregalar (granit) için kısmi ikame ederek kullanmışlardır. Deniz kabuğu ile modifiye edilmiş beton için öncelikle her bir malzeme setinin fizyomekanik özelliklerini ve uygunluğunu değerlendirmişler ardından dökülen her grup betonun işlenebilirliğini ve son olarak sertleşmiş betonun dayanım özelliklerini test etmişlerdir. Beton karışımı olarak, C25 beton sınıfı için 0,5 su/çimento oranı, ince agrega olarak nehir kumu, bağlayıcı olarak sıradan Portland çimento deniz kabuğu (OPC) ve kaba agrega olarak değişen oranlarda (%10, 20, 30, 40 ,50) ezilmiş deniz kabukları ve granit kullanmışlardır. Su emme testlerinde ezilmiş deniz kabuklarının su emme değerinin %1.2, granitin su emme değerinin ise %0.5 olduğunu bulmuşlardır. Yüksek değerlerin yüksek gözeneklilik nedeniyle daha az direnci gösterdiğini ancak bu değerlerin standartlara uygun olduğunu belirlemişlerdir. Agrega darbe testlerinde granitin (sonuç: %26.62) standartları sağlandığını ancak BS812’ye [59] göre <%30 olması gereken kaba agrega olarak izin verilen darbe değerinin, ezilmiş deniz kabuğunda (sonuç: %34.72) sınırın ötesine geçtiğini belirlemişlerdir. Artan kırılmış deniz kabuğu yüzdeleri ile işlenebilirlikte sürekli bir düşüş olduğunu tespit etmişler, bunun nedenini ise ezilmiş deniz kabuklarının sunduğu yüksek su emme seviyesinden dolayı olduğunu belirlemişlerdir.

25 N/mm<sup>2</sup> 28 günlük hedef dayanımı C25 sınıfı beton için sadece kontrol karışımında (SS-00) elde etmişlerdir. Basınç dayanımı, kür yaşı ile artarken, deniz kabuğu ilavesi ile azaldığını, deniz kabuğu modifiyeli karışımların, C25 betonu için tasarım hedef mukavemetine ulaşamamasına rağmen %10 ve %20 deniz kabuğu modifiyeli karışımların C20 betonu için gerekli mukavemeti sağladığını belirlemişlerdir (Şekil 3.9). Basınç dayanımındaki azalışın, ezilmiş deniz kabuğu agregalarının yüksek düzeyde su emmesi,

deniz kabuğunun darbeye karşı düşük direnç göstermesi ve taze karışımdaki artan deniz kabuğu ilaveleri ile tutarlılık gösterdiği sonucuna varmışlardır.



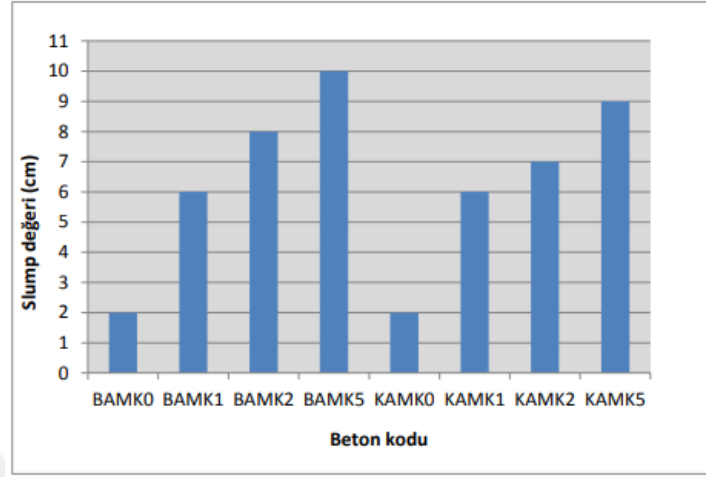
Şekil 3.9: Basınç dayanım karşılaştırma grafiği [58].

Çitoğlu ve Bayraktar, 2016 yılında [60]; doğal kaynakların nüfus artışı ve sanayileşme yüzünden hızla tükenmeye başlamasından dolayı, betonun %70'ini oluşturan agrega yapı malzemesine alternatif olarak yeni malzemeler bulma amacı ile midye kabuğunun betonda agrega olarak kullanılabilirliğini deneysel olarak incelemişlerdir. Bu deneysel çalışmada Bartın Amasra ilçesi ve Kastamonu Abana ilçesi sahilinden temin edilen midye kabuklarını kullanmışlar, sırasıyla BAMK ve KAMK olarak isimlendirmişlerdir. Midye kabuklarını agrega ağırlığının %0, %1, %2 ve %5 oranlarında kullanmışlar; 15x15x15 cm boyutlarında beton küp örnekleri elde etmişlerdir. BAMK örneklerini (BAMK1, BAMK2, BAMK5), midye kabuğu ihtiva etmeyen kontrol örneği BAMK0; KAMK örneklerini (KAMK1, KAMK2, KAMK5) ise midye kabuğu ihtiva etmeyen kontrol örneği KAMK0 ile karşılaştırmışlardır.

Tüm örnekleri 21±2 °C sıcaklık ve %50-60 bağıl neme sahip laboratuvar ortamında 28 gün süreyle kür ettikten sonra taze beton ve sertleşmiş beton deneylerine tabi tutarak midye kabuğunun betonda kullanılabilirliği tespit etmişlerdir.

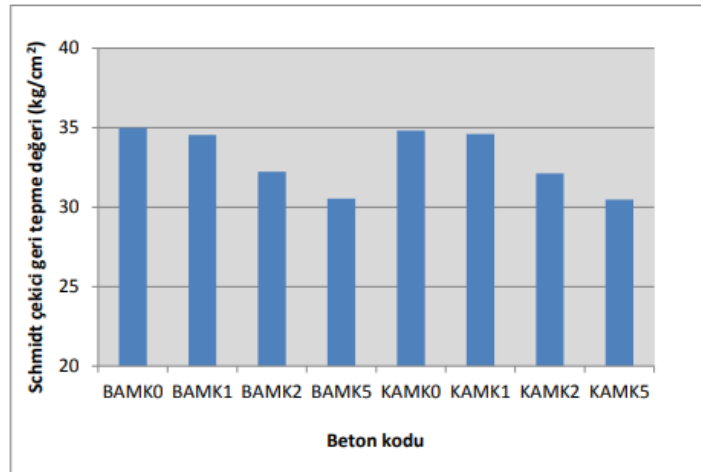
Slump çökme deneyi sonuçlarına göre; Şekil 3.10'da görüldüğü üzere BAMK ve KAMK grubu beton tiplerinde midye kabuğu oranı arttıkça akıcılığında arttığını, BAMK0 katı,

BAMK1 katı-plastik, BAMK2 ve BAMK5 plastik kıvama; KAMK0 katı, KAMK1 katı-plastik, KAMK2 ve KAMK5 plastik kıvama sahip olduğunu görmüşlerdir.



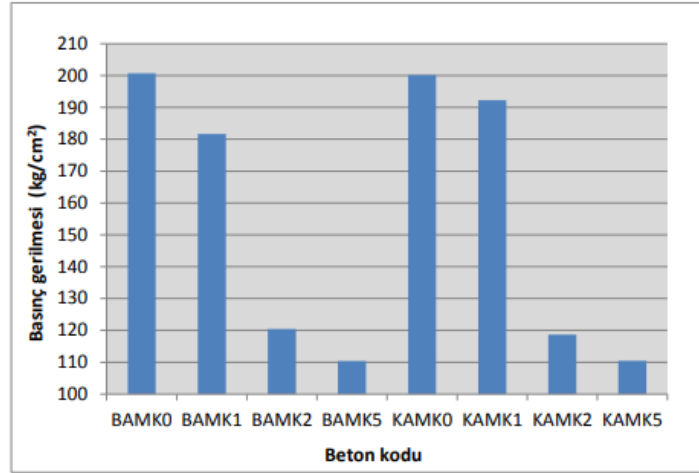
Şekil 3.10: Slump değeri karşılaştırma grafiği [60].

Schmidt sertlik çekici deney sonuçlarına göre; BAMK ve KAMK grubu beton örneklerinde midye kabuğu oranı arttıkça sertlik sınıfı azaldığını tespit etmişler ve genel olarak en düşük sertlik değerlerini KAMK grubunda elde etmişlerdir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11: Schmidt deneyi sonuç karşılaştırma grafiği [60].

Basınç deneylerinde ise; midye kabuklarının beton basınç dayanımına olumsuz yönde etki ettiğini ve kabuk yüzdesi arttıkça dayanımında gitgide düştüğünü görmüşlerdir (Şekil 3.12).



Şekil 3.12: Basınç gerilmesi karşılaştırma grafiği [60].

Betonun, esas görevinin hedeflenen basınç dayanımlarını güvenle sağlaması olduğu düşünüldüğünde, midye kabuğunun beton basınç dayanımına olumsuz yönde etki ettiği sonucuna ulaşmışlardır.

Guo ve arkadaşları, 2020 yılında [62]; yenilikçi ve sürdürülebilir çevre dostu bir beton elde etmek amacıyla deniz kumu ve/veya deniz suyu ile katılan iyonların betonun mekanik özellikleri üzerindeki etkisi araştırmışlardır. Deniz kumu ve deniz suyunu, iyon içeriğinin farklı bölgelerdeki değişkenliği üzerindeki etkisini inceleyebilmek için Çin'deki üç farklı deniz alanından (Pearl River Estuary (PRE), Neilingding Island (NDI) ve Daya Bay of Huizhou (DBH)) temin etmişlerdir. Referans beton, NDI beton, DBH beton ve PRE beton üzere dört beton karışımını, 0.48 s/ç oranı ile basınç dayanımı 40 MPa olacak şekilde tasarlamışlardır.

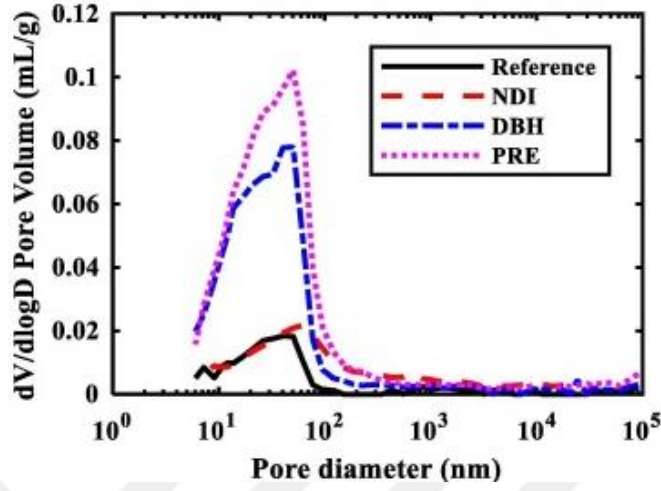
Tuzdan arındırılmış kum ve tatlı suyun doğrudan deniz kumu ve deniz suyu hammaddeleriyle değiştirilmesinin, basınç dayanımında hafif bir azalmaya yol açtığı ancak bu azalamaya rağmen NDI betonun basınç dayanımının hedeflenen dayanımı karşıladığı sonucuna ulaşmışlardır. Tablo 3.3'te beton gruplarının ortalama basınç dayanımları verilmiştir.

Tablo 3.3: Beton numunelerin karakteristik basınç dayanımları [62].

| Beton                       | Referans | NDI   | DBH   | PRE   |
|-----------------------------|----------|-------|-------|-------|
| Karakteristik dayanım (MPa) | 41,98    | 41,26 | 38,91 | 36,75 |

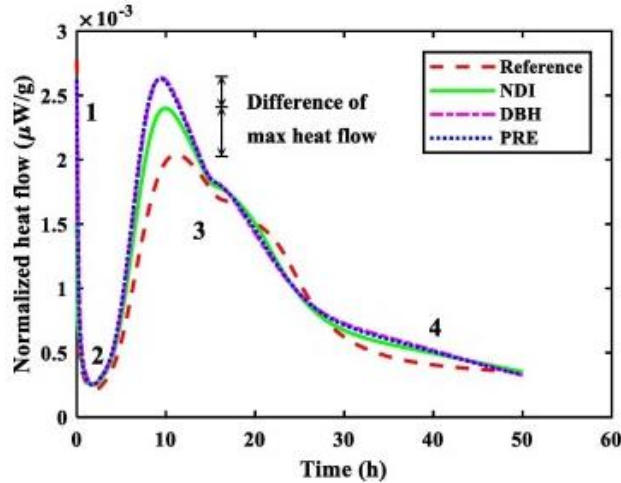
Cıva giriş porozimetresi testine göre, aynı beton karışım oranı ile sıradan betonun gözenekliliğinin en düşük, mukavemetinin ise en yüksek olduğunu; PRE grubu en yüksek

gözenekliliğe sahipken, gücünün en düşük seviyede olduğunu tespit etmişlerdir (Şekil 3.13).



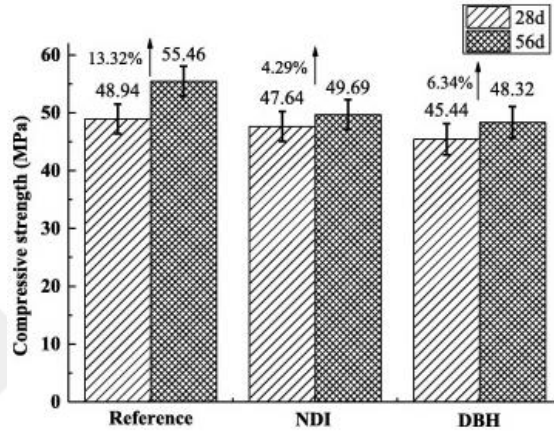
Şekil 3.13: Gözenek dağılımı [62].

Çalışmada, deniz suyu-çimento hamurunun erken yaştaki ısı akışını, sekiz kanallı bir ısı iletim kalorimetresi olan izotermal kalorimetre TAM Air ile ölçmüşlerdir. Deniz suyu çimento hamurunun ilk ve son priz sürelerinin tatlı su çimento hamurundan daha kısa olduğu sonucunu elde etmişlerdir (Şekil 3.14). Erken yaşta hidrasyon reaksiyonunun hızlanmasının, basınç dayanımının azalmasına yol açan gözenekli mikro yapının oluşmasına neden olduğunu tespit etmişlerdir.



Şekil 3.14: Dört aşamalı normalleştirilmiş ısı akışı gelişimi [62].

28 günlük ve 56 günlük kütleme işleminden sonra 150 mm genişliğinde ve 300 mm uzunluğunda test silindirleri üzerinde tek eksenli sıkıştırma testleri yapmışlardır. DBH ve PRE deniz suyu arasındaki toplam iyon içeriği farkı dikkate alınmayacak bir değerde olduğu için bu deneyde PRE betonları test etmemişlerdir. Referans betonlar ile deniz kumu deniz suyu betonlar arasında ufak dayanım kayıpları olduğunu gözlemlemişlerdir (Şekil 3.15).



Şekil 3.15: Basınç dayanımı karşılaştırması [62].

Deniz kumu deniz suyu betonunun uzun vadede herhangi bir tedavi uygulanmadan mukavemet gelişiminin nispeten sınırlı olduğu, bu olumsuz etki muhtemelen erken yaşta çimentonun deniz suyuyla temas etmesiyle oluşan hızlı hidratasyon reaksiyonundan kaynaklandığı ancak yine de artırılmamış deniz kumu ve deniz suyunun doğrudan kullanımının, betonun mekanik özellikleri açısından hiçbir içsel farklılık yaratmadığı sonucuna ulaşmışlardır.

Aydın, 2019 yılında [36]; geçmiş yıllarda denize yakın bölgelerde inşa edilmiş yapıların karışımında deniz kumu ve deniz kabuğu kullanılmasının beton dayanımına etkilerini araştırmak amacıyla deneysel bir çalışma yapmıştır. Deniz kabuklu betonları, kabuksuz referans betonlarla karşılaştırıp dayanım kayıplarını belirlemiştir. Deniz kumunun hacimce %3'ü ve %6'sı oranında deniz kabuğu içeren; düşük ve normal dayanımlı olmak üzere 2 farklı dayanım sınıfında; her beton türünden üçer adet olmak kaydıyla 15x15x15 cm boyutlu küp şeklinde deniz kabuğu ikameli betonlar numuneler üretmiştir. Deneylerde kullanılan beton türleri Tablo 3.4'te verilmiştir. Aydın, deniz kumu ve deniz kabuğunu Sakarya'nın Karasu ilçesinden temin etmiştir.

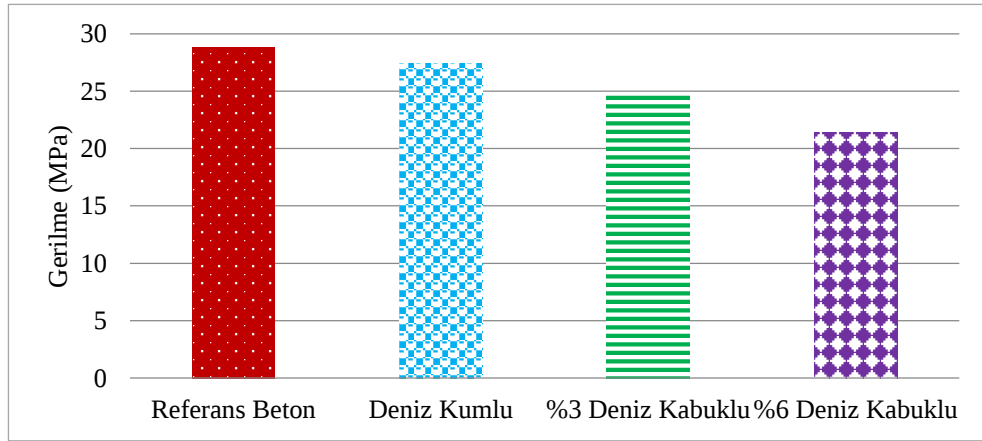
Tablo 3.4: Deneylerde kullanılan beton türleri [36].

| Düşük Dayanımlı  | Normal Dayanımlı |
|------------------|------------------|
| Referans         | Referans         |
| Deniz Kumlu      | Deniz Kumlu      |
| %3 Deniz Kabuklu | %3 Deniz Kabuklu |
| %6 Deniz Kabuklu | %6 Deniz Kabuklu |

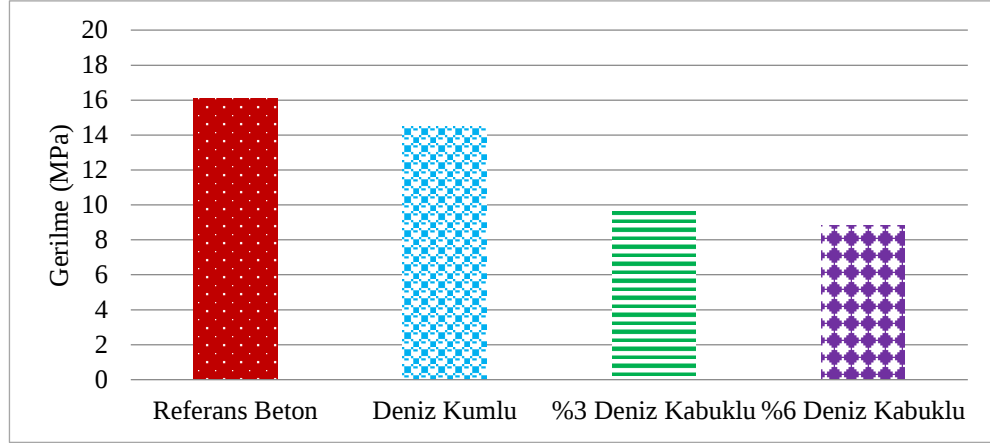
Üretilen beton numunelerin ortalama basınç dayanımları Tablo 3.5, Şekil 3.16, Şekil 3.17’de verilmiştir. Normal dayanımlı betonlarda referans betonlara göre deniz kumlu, %3 deniz kabuklu, %6 deniz kabuklu betonların sırasıyla %4,9, %14,6, %25,7 dayanım kaybına uğradığını; düşük dayanımlı betonlarda ise referans betonlara göre deniz kumlu, %3 deniz kabuklu, %6 deniz kabuklu betonların ise sırasıyla %9,9, %40, %45 dayanım kaybına uğradığını tespit etmiştir.

Tablo 3.5: Numunelerin ortalama basınç dayanımları [36].

|                   | Normal Dayanımlı<br>(Mpa) | Düşük Dayanımlı<br>(MPa) |
|-------------------|---------------------------|--------------------------|
| Referans Betonlar | 28,8                      | 16,1                     |
| Deniz Kumlu       | 27,4                      | 14,5                     |
| Deniz Kabuklu %3  | 24,6                      | 9,6                      |
| Deniz Kabuklu %6  | 21,4                      | 8,8                      |



Şekil 3.16: Normal dayanımlı betonların gerilme sonuçları [36].



Şekil 3.17: Düşük dayanımlı betonların gerilme sonuçları [36].

Deniz kabuğu oranlarının her iki beton türünde aynı oranında olmasına rağmen normal dayanımlı betonlarda %3 ve %6 deniz kabuklu betonlar için dayanım kayıpları sırasıyla %15-%26 oranında iken düşük dayanımlı betonlarda bu oranlar sırasıyla %40-%45 olarak gerçekleştiğini tespit etmiştir. Ülkemizdeki eski yapıların betonlarında deniz kabuklu ve deniz kumu kullanılanların büyük bir risk altında olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Bu tez kapsamında, yapılan çalışmalardan farklı olarak eski binalardan durum tespiti için numuneler alınmış, elde edilen sonuçlara göre karışım oranları belirlenmiş; basınç ve eğilme numuneleri hazırlanmış, numuneler hem tahribatlı hem tahribatsız deney yöntemleri ile test edilmiştir.

## BÖLÜM 4. MALZEME VE METOT

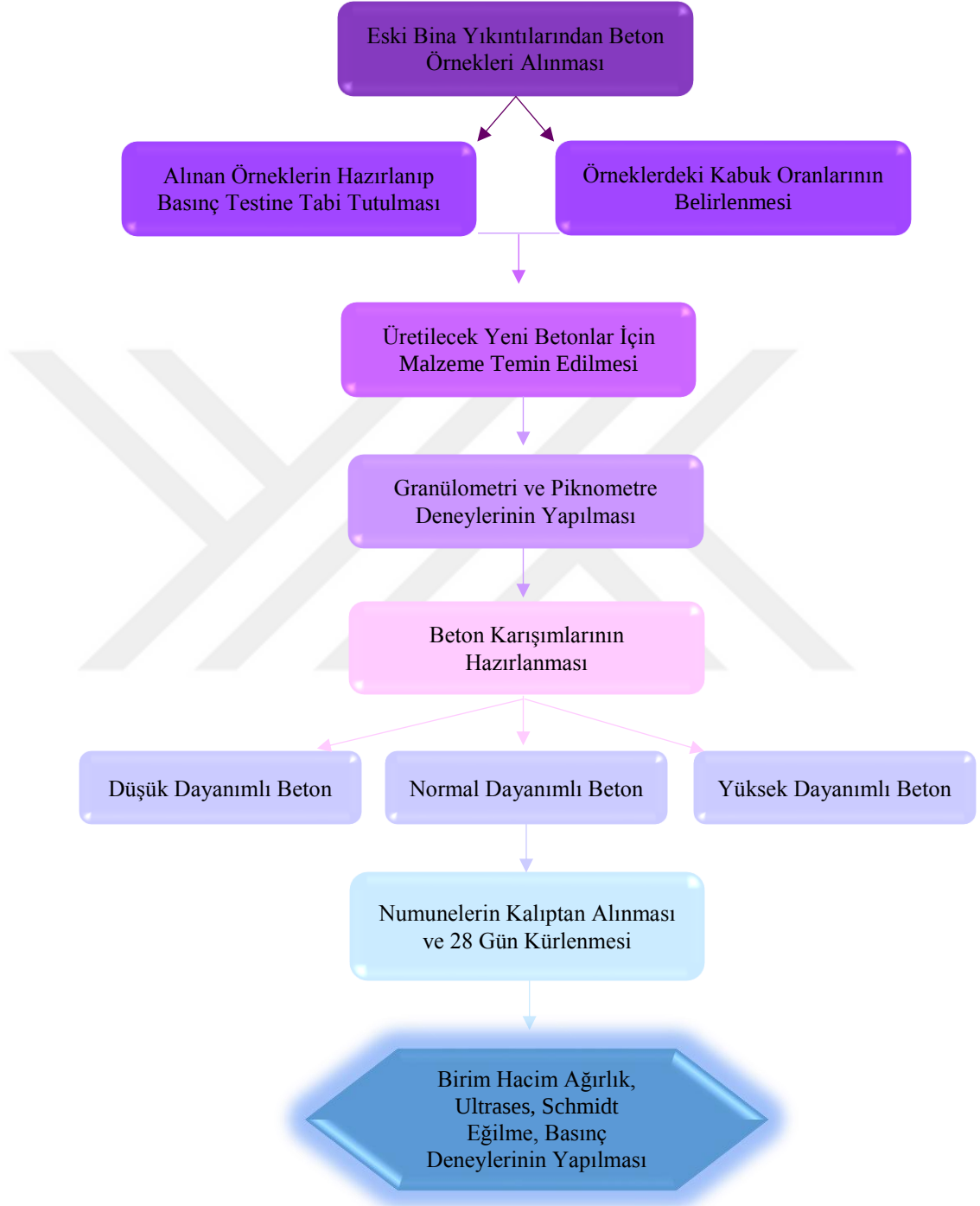
Eski yapı betonlarındaki deniz kabuğunun beton dayanımına etkilerinin deneysel olarak araştırılması amacıyla düşük, normal ve yüksek olmak üzere üç farklı dayanım sınıfında, beşerli gruplar halinde; standart kumlu, sadece deniz kumlu, %3 deniz kabuklu-deniz kumlu, %6 deniz kabuklu-deniz kumlu, %9 deniz kabuklu-deniz kumlu beton üretilmiştir (Tablo 4.1). Her bir grup için 15x15x15 cm boyutunda üçer adet küp, 10x10x25 cm boyutunda ikişer adet eğilme numunesi olmak üzere, 45 küp; 30 eğilme numunesi, toplamda 75 numune üretilmiştir. Numuneler kalıptan alındıktan sonra 28 gün kür havuzunda bekletilmiştir.

Tablo 4.1: Deneyde kullanılan beton türleri ve numune sayıları.

| Düşük Dayanımlı Beton  | Normal Dayanımlı Beton | Yüksek Dayanımlı Beton |
|------------------------|------------------------|------------------------|
| Referans Beton         | Referans Beton         | Referans Beton         |
| Deniz Kumlu Beton      | Deniz Kumlu Beton      | Deniz Kumlu Beton      |
| %3 Deniz Kabuklu Beton | %3 Deniz Kabuklu Beton | %3 Deniz Kabuklu Beton |
| %6 Deniz Kabuklu Beton | %6 Deniz Kabuklu Beton | %6 Deniz Kabuklu Beton |
| %9 Deniz Kabuklu Beton | %9 Deniz Kabuklu Beton | %9 Deniz Kabuklu Beton |

Bu tez kapsamında yapılan laboratuvar çalışmaları, Şekil 4.1’de şematik olarak gösterilmiştir. Deneylerde kullanılan deniz kumu ve deniz kabukları Marmara Denizi’nden alınmıştır (Şekil 4.2). Beton üretimine başlanmadan önce, İstanbul’un Kartal ilçesine bağlı Atalar ve Cevizli mahallelerindeki kentsel dönüşüm amaçlı yıkılmış binalardan beton numuneleri alınmış (Şekil 4.3), basınç testleri ile dayanımları ölçülmüş ve içerdikleri deniz kabukları numune ağırlığına bağlı yüzdece tespit edilmiştir (Şekil 4.4). Yıkıntılardan alınan beton numuneleri test edildikten sonra, beton üretimi için gerekli malzemeler temin edilip, Tablo 4.1’de verilen beton türleri üretilmiştir. Beton reçeteleri, TS 802 [64] beton karışım tasarım hesap esaslarına uygun olarak belirlenmiştir. Tüm betonların 1 m<sup>3</sup> için ağırlıkça (kg) karışım oranları Tablo 4.2, Tablo 4.3 ve Tablo 4.4’te verilmiştir. Referans betonlar için kırma kum kullanılmış, diğer tüm numuneler için yıkanmamış deniz kumu kullanılmıştır. Her iki kum türü için de elek analizi yapılmıştır.

Deniz kabuklarının özgül ağırlıkları yapılan piknometre testleri sonucunda 2,55 gr/cm<sup>3</sup> bulunmuştur.



Şekil 4.1: Deneysel akış şeması.



Şekil 4.2: Marmara Denizi'nden temin edilen kum ve deniz kabukları.



Şekil 4.3: Yıkıntılardan alınan beton numuneler



Basınç Dayanımı  
17.85 MPa

Ağırlıkça Kabuk Oranı  
%1.36

Basınç Dayanımı  
26.81 MPa

Ağırlıkça Kabuk Oranı  
%1.41

Basınç Dayanımı  
19.96 MPa

Ağırlıkça Kabuk Oranı  
%2.55



Basınç Dayanımı  
17.5 MPa

Ağırlıkça Kabuk Oranı  
%4.03



Basınç Dayanımı  
8.06 MPa

Ağırlıkça Kabuk Oranı  
%5.76

Şekil 4.4: Yıkıntılardan alınan numunelerin dayanımları ve kabuk içerikleri.

Tablo 4.2: Düşük dayanımlı beton karışım oranları.

| (kg)         | Referans<br>Beton | Deniz<br>Kumlu<br>Beton | %3 Deniz<br>Kabuklu<br>Beton | %6 Deniz<br>Kabuklu<br>Beton | %9 Deniz<br>Kabuklu<br>Beton |
|--------------|-------------------|-------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Su           | 204               | 204                     | 204                          | 204                          | 204                          |
| Çimento      | 210               | 210                     | 210                          | 210                          | 210                          |
| Kum          | 737,73            | 737,73                  | 682,40                       | 627,07                       | 571,74                       |
| Mıdır I      | 751,75            | 751,75                  | 751,75                       | 751,75                       | 751,75                       |
| Mıdır II     | 375,88            | 375,88                  | 375,88                       | 375,88                       | 375,88                       |
| Deniz Kabuğu | -                 | -                       | 53,65                        | 107,30                       | 160,95                       |
| Toplam       | 2279,36           | 2279,36                 | 2279,36                      | 2279,36                      | 2279,36                      |

Tablo 4.3: Normal dayanımlı betonların karışım oranları.

| (kg)         | Referans<br>Beton | Deniz Kumlu<br>Beton | %3 Deniz<br>Kabuklu<br>Beton | %6 Deniz<br>Kabuklu<br>Beton | %9 Deniz<br>Kabuklu<br>Beton |
|--------------|-------------------|----------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Su           | 204               | 204                  | 204                          | 204                          | 204                          |
| Çimento      | 255               | 255                  | 255                          | 255                          | 255                          |
| Kum          | 722,46            | 722,46               | 668,26                       | 614,08                       | 559,9                        |
| Mıdır I      | 736,2             | 736,2                | 736,2                        | 736,2                        | 736,2                        |
| Mıdır II     | 368,1             | 368,1                | 368,1                        | 368,1                        | 368,1                        |
| Deniz Kabuğu | -                 | -                    | 52,53                        | 105,06                       | 157,59                       |
| Toplam       | 2285,76           | 2285,76              | 2284,09                      | 2282,44                      | 2280,79                      |

Tablo 4.4: Yüksek dayanımlı betonların karışım oranları.

| (kg)         | Referans<br>Beton | %0 Deniz<br>Kabuklu<br>Beton | %3 Deniz<br>Kabuklu<br>Beton | %6 Deniz<br>Kabuklu<br>Beton | %9 Deniz<br>Kabuklu<br>Beton |
|--------------|-------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Su           | 204               | 204                          | 204                          | 204                          | 204                          |
| Çimento      | 425               | 425                          | 425                          | 425                          | 425                          |
| Kum          | 664,76            | 664,76                       | 614,9                        | 565,04                       | 515,19                       |
| Mıdır I      | 677,4             | 677,4                        | 677,4                        | 677,4                        | 677,4                        |
| Mıdır II     | 338,7             | 338,7                        | 338,7                        | 338,7                        | 338,7                        |
| Deniz Kabuğu | -                 | -                            | 48,34                        | 96,68                        | 145,02                       |
| Toplam       | 2309,86           | 2309,86                      | 2308,34                      | 2306,82                      | 2305,31                      |

Şekil 4.5’te beton karışımını hazırlama safhaları görsel olarak verilmiştir. 28 gün boyunca kür havuzunda bekleyen numuneler kürden çıkarılıp bir süre kurutulduktan sonra öncelikle birim hacim ağırlık deneyi yapılmıştır.



Şekil 4.5: Beton karışımı hazırlama safhaları.

Birim hacim ağırlık deneyinin ardından tahtibatsız dayanım ölçme deneylerine geçilmiştir. İlk olarak ultrases deneyi yapılmıştır (Şekil 4.6). Bu deney beton içerisindeki boşluklardan yararlanarak beton kalitesinin tayinine olanak sağlamaktadır. Deneye başlamadan önce cihaz kalibre edilmiştir. Biri alıcı biri verici olan prob uçlara kauçuk gress sürülmüştür. Problar numuneye tutturulmuş, sıkıca bastırılıp ve cihazdan geçiş süresi ( $\mu s$ ) mikro saniye cinsinden okunmuştur.  $V = l/t$  ( $V$  = Ses hızı (km/sn),  $t$  = Ses geçiş süresi (sn),  $l$  = Ölçü boyu (km)) formülüne göre hesaplama yapılmıştır. Sonuçlar Tablo 4.5'e göre değerlendirilmiştir. Bu işlem tüm numuneler için tekrarlanmıştır.

Tablo 4.5: Ses hızı-beton kalitesi ilişkisi [15]

| V (km/sn) | Beton Kalitesi |
|-----------|----------------|
| > 4,5     | Mükemmel       |
| 3,5 - 4,5 | İyi            |
| 3,0 - 3,5 | Şüpheli        |
| 2,0 - 3,0 | Zayıf          |
| < 2,0     | Çok Zayıf      |



Şekil 4.6: Ultrases deneyi.

Ultrases deneyi tamamlandıktan sonra schmidt çekici deneyine geçilmiştir (Şekil 4.7). Küp beton numunenin pürüzsüz, çatlak içermeyen yüzeyine schmidt çekici ile basınç altında  $90^\circ$  derecelik açıyla 10 vuruş yapılmıştır. Elde edilen geri tepme verilerinin ortalaması alınmıştır. Geri tepme-basınç dayanımı grafiğinden numunenin basınç dayanımı MPa cinsinden bulunmuştur. Bu işlem tüm numuneler için tekrarlanmıştır.

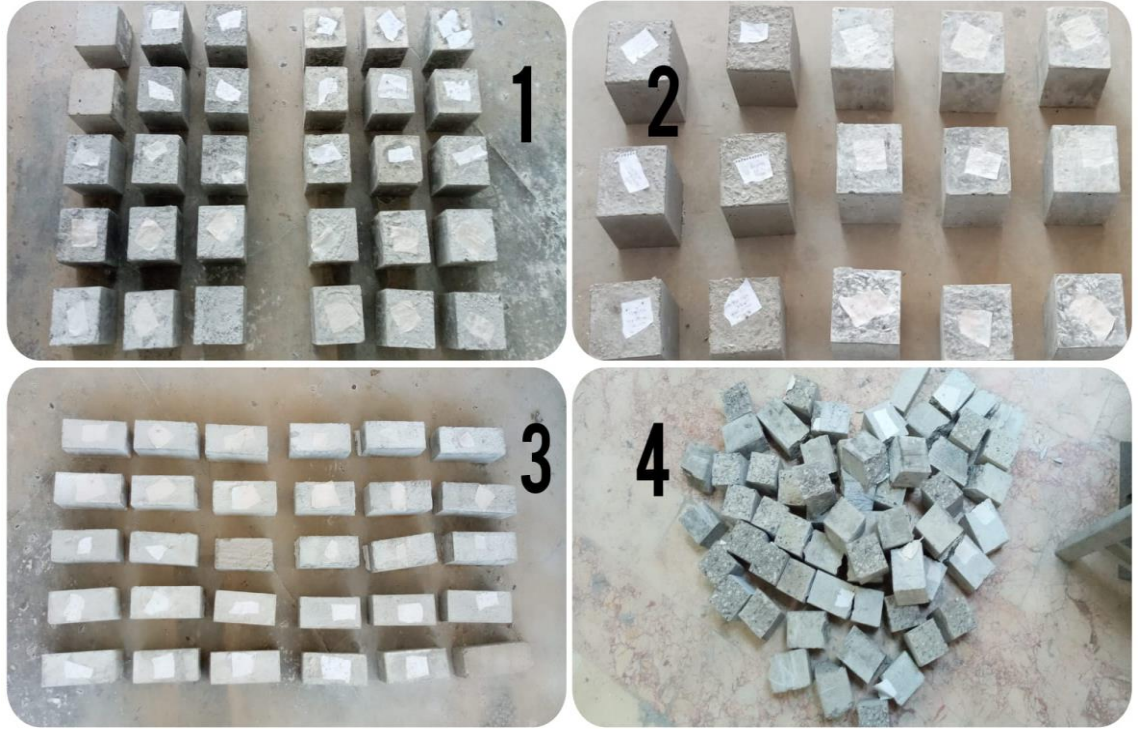


Şekil 4.7: Schmidt deneyi.

Tahribatsız deneyler tamamlandıktan sonra tahribatlı deneylere geçilmiştir. Küp numunelere basınç deneyi, eğilme numunelerine eğilme deneyi yapılmıştır. Şekil 4.8’de basınç deneyi ve eğilme deneyi, Şekil 4.9’da küp numuneler, eğilme numuneleri ve kırılmış eğilme numunelerinin bir kısmı görsel olarak verilmiştir.

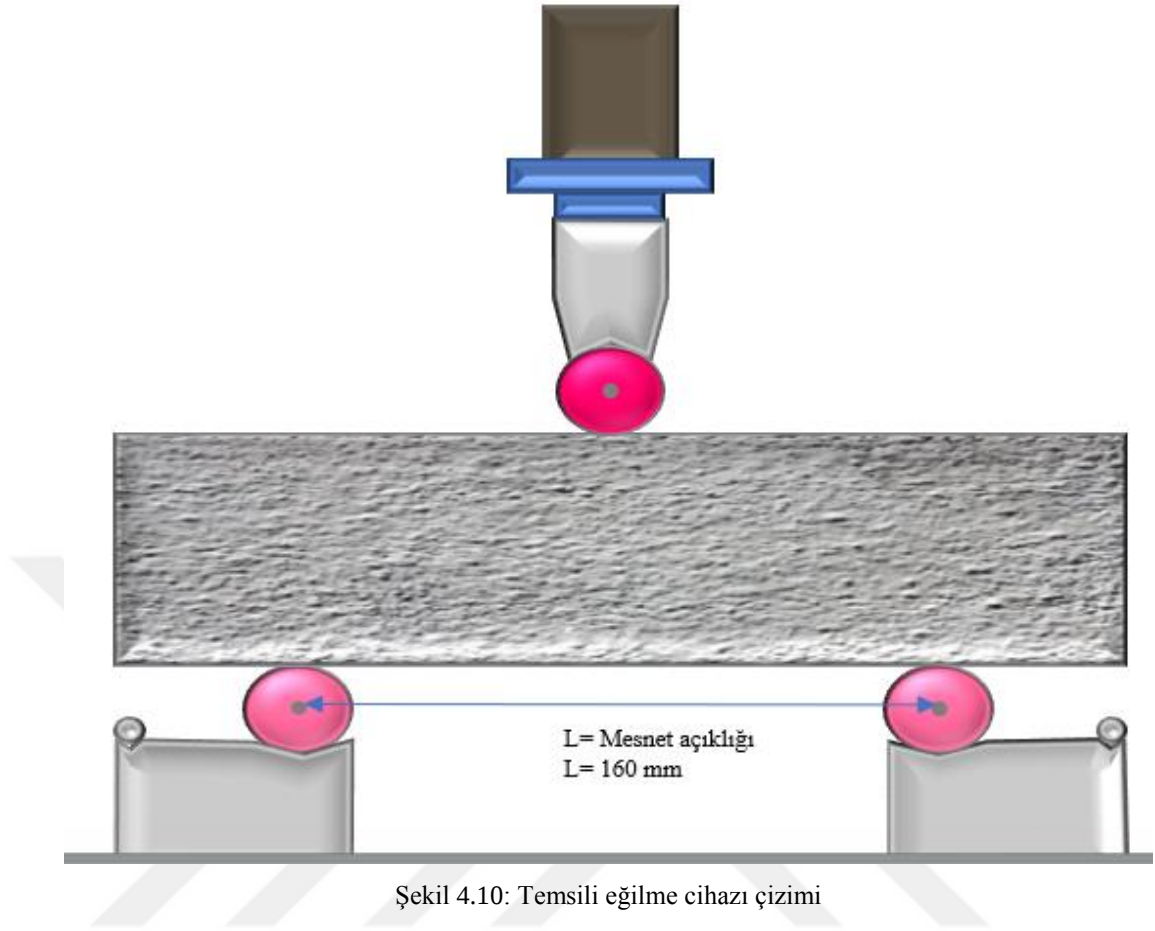


Şekil 4.8: Basınç deneyi-eğilme deneyi.



Şekil 4.9: 1-Düşük ve normal dayanımlı küp numuneler, 2-Yüksek dayanımlı küp numuneler, 3- bütün eğilme numuneleri, 4-Kırılmış eğilme numuneleri.

Tek eksenli basınç deneyleri sırasında yükleme hızı 13,5 kN/sn olarak uygulanmıştır. 3 noktalı eğilme deneylerinde Şekil 4.10'daki temsili eğilme cihazı çiziminde görüldüğü üzere mesnet açıklığı  $L=160$  mm tercih edilmiş, yükleme hızı 3 mm/sn olarak uygulanmıştır.



Tablo 4.6’da kırma kuma ait elek analizi, Tablo 4.7’de deniz kumuna ait elek analizi ve Tablo 4.8’de  $D_{maks}=4$  mm’ye ait elek analizi verilmiştir. Elek analizi sonuçları Şekil 4.11’de elekten geçen numune-elek açıklığı grafiğinde karşılaştırılmıştır.

Tablo 4.6: Kırma kum elek analizi

| Elek çapı<br>(mm) | Elek Üstü<br>(gr) | Kalan | Elek üstünde Kalan<br>Kümülatif % | Elek üstünde Kalan<br>Kümülatif % |
|-------------------|-------------------|-------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 32                | 0                 |       | 0                                 | 100                               |
| 16                | 0                 |       | 0                                 | 100                               |
| 8                 | 0                 |       | 0                                 | 100                               |
| 4                 | 34,34             |       | 3,28                              | 96,72                             |
| 2                 | 271,53            |       | 29,21                             | 70,79                             |
| 1                 | 286,26            |       | 56,54                             | 43,46                             |
| 0.5               | 279,55            |       | 83,23                             | 16,77                             |
| 0.25              | 140,18            |       | 96,62                             | 3,38                              |
| 0.125             | 33,02             |       | 99,77                             | 0,23                              |
| TEPSİ (PAN)       | 2,42              |       | 100                               | 0                                 |
| TOPLAM            | 1047,3            |       | -                                 | -                                 |

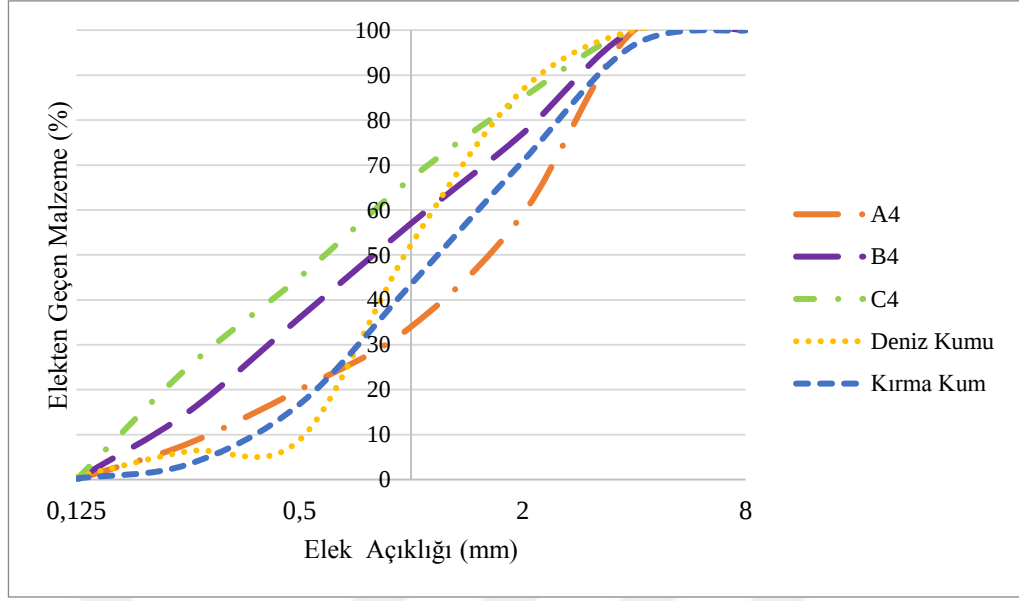
Tablo 4.7: Deniz kumu elek analizi

| Elek çapı<br>(mm) | Elek Üstü Kalan<br>(gr) | Elek üstünde Kalan Kümülatif<br>% | Elek üstünde Kalan Kümülatif<br>% |
|-------------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 32                | 0                       | 0                                 | 100                               |
| 16                | 0                       | 0                                 | 100                               |
| 8                 | 0                       | 0                                 | 100                               |
| 4                 | 0                       | 0                                 | 100                               |
| 2                 | 142,98                  | 13,27                             | 86,73                             |
| 1                 | 371,42                  | 47,73                             | 52,27                             |
| 0.5               | 468,28                  | 91,19                             | 8,81                              |
| 0.25              | 27,26                   | 93,72                             | 6,28                              |
| 0.125             | 61,24                   | 99,40                             | 0,60                              |
| TEPSİ (PAN)       | 6,48                    | 100                               | 0                                 |
| TOPLAM            | 1077,66                 | -                                 | -                                 |

Tablo 4.8: Dmaks=4 mm elekten % geçen

|       | A4  | B4  | C4  |
|-------|-----|-----|-----|
| 0,125 | 0   | 0   | 0   |
| 0,25  | 8   | 15  | 25  |
| 0,5   | 20  | 36  | 45  |
| 1     | 34  | 57  | 67  |
| 2     | 59  | 77  | 85  |
| 4     | 100 | 100 | 100 |
| 8     | 100 | 100 | 100 |
| 16    | 100 | 100 | 100 |
| 31,5  | 100 | 100 | 100 |

Kırma kum ve deniz kumuna elekten geçen malzeme eğrileri, Dmaks= 4 mm eğrileri ile karşılaştırılmıştır. A4 eğrisi altında kalan alan çok kalın bölge, A4 eğrisi ile B4 eğrisi arasında kalan alan bölge ideal bölge, B4 eğrisi ile C4 eğrisi arasında kalan alan kullanılabilir bölge, C4 eğrisi üstünde kalan alan çok ince bölge kabul edildiğinde deniz kumunun kırma kumdan çok daha ince olduğu sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 4.11: Elek analizi karşılaştırma grafiği.

## BÖLÜM 5. DENEY SONUÇLARI

Düşük, normal ve yüksek dayanımlı olmak üzere 3 farklı dayanım sınıfında; referans, deniz kumlu, %3 deniz kabuklu, %6 deniz kabuklu, %9 deniz kabuklu olmak üzere 5 farklı grupta üretilen numunelere sırasıyla birim hacim ağırlık, ultrases, schmidt, basınç ve eğilme deneyleri yapıldı. Elde edilen deneysel veriler ile her dayanım grubuna ait; tüm deneyleri içeren sonuç tabloları, ultrases, schmidt, basınç, eğilme deneylerine ait sütun grafikleri, basınç deneylerine ait gerilme- birim deformasyon grafikleri, eğilme deneylerine ait yük-sehim grafikleri, basınç dayanımı-ultrases korelasyon grafikleri, basınç dayanımı-schmidt korelasyon grafikleri ve basınç dayanımı-eğilme dayanımı korelasyon grafikleri, ortalama basınç dayanımı gerilme-birim deformasyon grafikleri ve farklı dayanım gruplarına ait karşılaştırmalar bu bölümde verilmiştir. Numune isimlendirmeleri Tablo 5.1’de verilmiştir.

Tablo 5.1: Numune isimlendirmeleri

| Düşük Dayanımlı Numuneler |                                                  | Normal Dayanımlı Numuneler |                                                   | Yüksek Dayanımlı Numuneler |                                                   |
|---------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------|---------------------------------------------------|
| D.R.n                     | Düşük dayanımlı referans basınç numunesi         | N.R.n                      | Normal dayanımlı referans basınç numunesi         | Y.R.n                      | Yüksek dayanımlı referans basınç numunesi         |
| D.D.n                     | Düşük dayanımlı deniz kumlu basınç numunesi      | N.D.n                      | Normal dayanımlı deniz kumlu basınç numunesi      | Y.D.n                      | Yüksek dayanımlı deniz kumlu basınç numunesi      |
| D.3.n                     | Düşük dayanımlı %3 deniz kabuklu basınç numunesi | N.3.n                      | Normal dayanımlı %3 deniz kabuklu basınç numunesi | Y.3.n                      | Yüksek dayanımlı %3 deniz kabuklu basınç numunesi |
| D.6.n                     | Düşük dayanımlı %6 deniz kabuklu basınç numunesi | N.6.n                      | Normal dayanımlı %6 deniz kabuklu basınç numunesi | Y.6.n                      | Yüksek dayanımlı %6 deniz kabuklu basınç numunesi |
| D.9.n                     | Düşük dayanımlı %9 deniz kabuklu basınç numunesi | N.9.n                      | Normal dayanımlı %9 deniz kabuklu basınç numunesi | Y.9.n                      | Yüksek dayanımlı %9 deniz kabuklu basınç numunesi |

Tablo 5.1: (Devamı) Numune isimlendirmeleri

|         |                                                  |         |                                                   |         |                                                   |
|---------|--------------------------------------------------|---------|---------------------------------------------------|---------|---------------------------------------------------|
| D.R.n.E | Düşük dayanımlı referans eğilme numunesi         | N.R.n.E | Normal dayanımlı referans eğilme numunesi         | Y.R.n.E | Yüksek dayanımlı referans eğilme numunesi         |
| D.D.n.E | Düşük dayanımlı deniz kumlu eğilme numunesi      | N.D.n.E | Normal dayanımlı deniz kumlu eğilme numunesi      | Y.D.n.E | Yüksek dayanımlı deniz kumlu eğilme numunesi      |
| D.3.n.E | Düşük dayanımlı %3 deniz kabuklu eğilme numunesi | N.3.n.E | Normal dayanımlı %3 deniz kabuklu eğilme numunesi | Y.3.n.E | Yüksek dayanımlı %3 deniz kabuklu eğilme numunesi |
| D.6.n.E | Düşük dayanımlı %6 deniz kabuklu eğilme numunesi | N.6.n.E | Normal dayanımlı %6 deniz kabuklu eğilme numunesi | Y.6.n.E | Yüksek dayanımlı %6 deniz kabuklu eğilme numunesi |
| D.9.n.E | Düşük dayanımlı %9 deniz kabuklu eğilme numunesi | N.9.n.E | Normal dayanımlı %9 deniz kabuklu eğilme numunesi | Y.9.n.E | Yüksek dayanımlı %9 deniz kabuklu eğilme numunesi |

\*n: numune numarası

### 5.1. Düşük Dayanımlı Beton Numunelere Ait Deneysel Sonuçlar

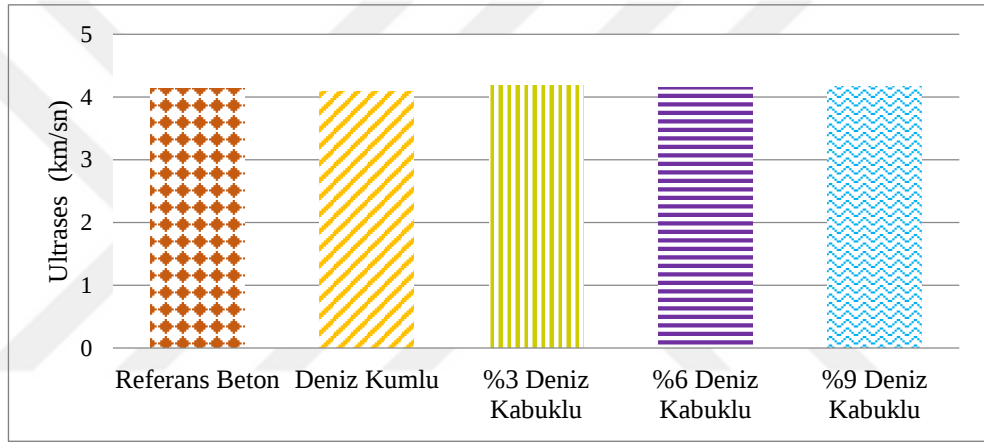
Düşük dayanımlı olarak üretilmiş, 15x15x15 cm boyutlarında 15 adet küp numuneye birim hacim ağırlık, ultrases, schmidt, tek eksenli basınç deneyleri; 10x10x25 cm boyutlarında 10 adet eğilme numunesine 3 noktalı eğilme deneyi yapıldı. Deney sonuçlarına ait tüm veriler Tablo 5.2’de verilmiştir.

Tablo 5.2: Düşük dayanımlı beton numunelerin tahribatlı ve tahribatsız deneylerine ait deneysel sonuçlar.

| Düşük Dayanımlı Betonlar | Numune No | Birim Hacim Ağırlık Deneyi (kg/cm <sup>3</sup> ) | Ort. (kg/cm <sup>3</sup> ) | Ultrases Deneyi (km/sn) | Ort. (km/sn) | Schmidt Deneyi (MPa) | Ort. (MPa) | Basınç Deneyi (MPa) | Ort. (MPa) | Eğilme Deneyi (MPa) | Ort. (MPa) |
|--------------------------|-----------|--------------------------------------------------|----------------------------|-------------------------|--------------|----------------------|------------|---------------------|------------|---------------------|------------|
| Referans                 | 1         | 2328,89                                          |                            | 4,16                    |              | 13                   |            | 17,35               |            | 5,03                |            |
|                          | 2         | 2317,04                                          | 2320,99                    | 4,15                    | 4,13         | 11                   | 11,67      | 16,99               | 16,93      | 5,01                | 5,02       |
|                          | 3         | 2317,04                                          |                            | 4,08                    |              | 11                   |            | 16,44               |            | -                   |            |
| Deniz Kumlu              | 1         | 2328,89                                          |                            | 4,12                    |              | 12                   |            | 15,66               |            | 5,13                |            |
|                          | 2         | 2311,11                                          | 2309,14                    | 4,08                    | 4,08         | 11                   | 11,00      | 15,16               | 15,26      | 4,79                | 4,96       |
|                          | 3         | 2287,41                                          |                            | 4,04                    |              | 10                   |            | 14,96               |            | -                   |            |
| %3 Deniz Kabuklu         | 1         | 2346,67                                          |                            | 4,26                    |              | 12                   |            | 15,29               |            | 5,10                |            |
|                          | 2         | 2346,67                                          | 2344,69                    | 4,18                    | 4,18         | 10                   | 10,67      | 14,98               | 14,99      | 4,15                | 4,30       |
|                          | 3         | 2340,74                                          |                            | 4,09                    |              | 10                   |            | 14,70               |            | -                   |            |
| %6 Deniz Kabuklu         | 1         | 2346,67                                          |                            | 4,21                    |              | 11                   |            | 15,83               |            | 4,88                |            |
|                          | 2         | 2340,74                                          | 2332,84                    | 4,12                    | 4,15         | 10                   | 10,33      | 14,52               | 14,95      | 4,32                | 4,60       |
|                          | 3         | 2311,11                                          |                            | 4,11                    |              | 10                   |            | 14,50               |            | -                   |            |
| %9 Deniz Kabuklu         | 1         | 2328,89                                          |                            | 4,19                    |              | 10,5                 |            | 15,32               |            | 4,08                |            |
|                          | 2         | 2305,19                                          | 2313,09                    | 4,15                    | 4,16         | 10                   | 10,17      | 14,88               | 14,72      | 4,00                | 4,04       |
|                          | 3         | 2305,19                                          |                            | 4,13                    |              | 10                   |            | 13,95               |            | -                   |            |

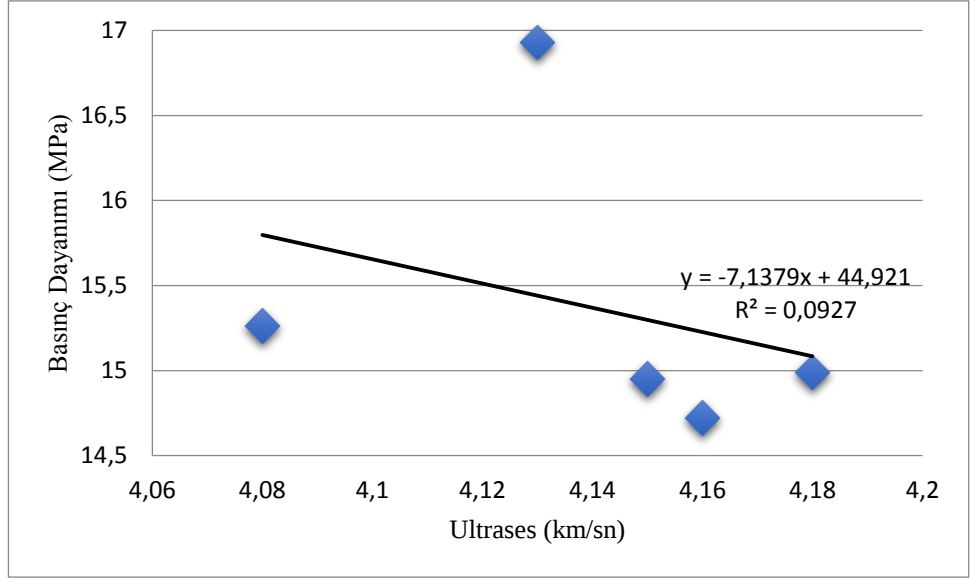
### 5.1.1. Ultrases deneyi sonuçları

Düşük dayanımlı; referans, deniz kumlu, %3 deniz kabuklu, %6 deniz kabuklu, %9 deniz kabuklu olmak üzere 5 farklı içeriğe sahip 15 küp numuneye ultrases geçiş hızı deneyi yapılmıştır. Referans numunelerde ortalama 4,13 km/sn, deniz kumlu numunelerde ortalama 4,08 km/sn, %3 deniz kabuklu numunelerde ortalama 4,18 km/sn, %6 deniz kabuklu numunelerde ortalama 4,15 km/sn, %9 deniz kabuklu numunelerde ortalama 4,16 km/sn değerleri elde edilmiştir. Tablo 4.5'e göre (ses hızı-beton kalitesi ilişkisi) bu değerler beton kalitesinin iyi olduğunu göstermektedir. Şekil 5.1'de numunelerde elde edilen ortalama ultrases sonuçlarına ait sütun grafiği verilmiştir.



Şekil 5.1: Düşük dayanımlı numunelerin ortalama ultrases sonuçlarına ait sütun grafiği.

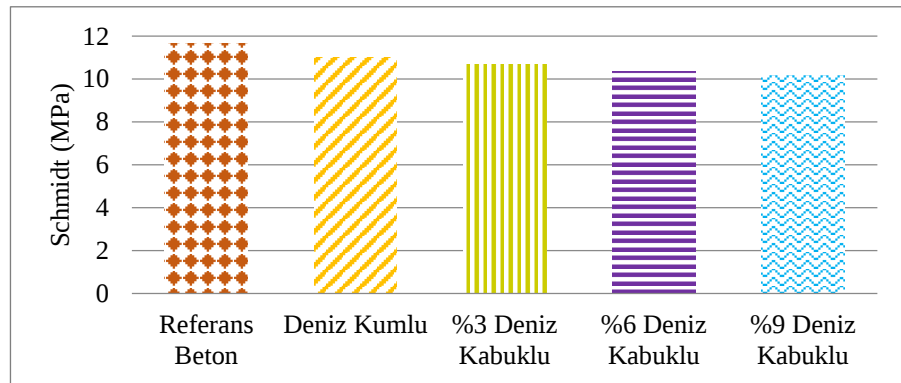
Basınç dayanımı-ultrases tahmini korelasyonunda  $R^2$  değeri 0,0927'dir. %9,27'lik bir değer elde edilmiştir. Şekil 5.2'de verilmiştir.  $R^2$  değerinin 1'e yaklaşması güvenli kabul edildiğinde bu korelasyon grafiğinde uyum sağlanamamış  $R^2$  oldukça düşük çıkmıştır.



Şekil 5.2: Düşük dayanımlı numunelerin basınç dayanımı-ultrases korelasyon grafiği.

### 5.1.2. Schmidt deneyi sonuçları

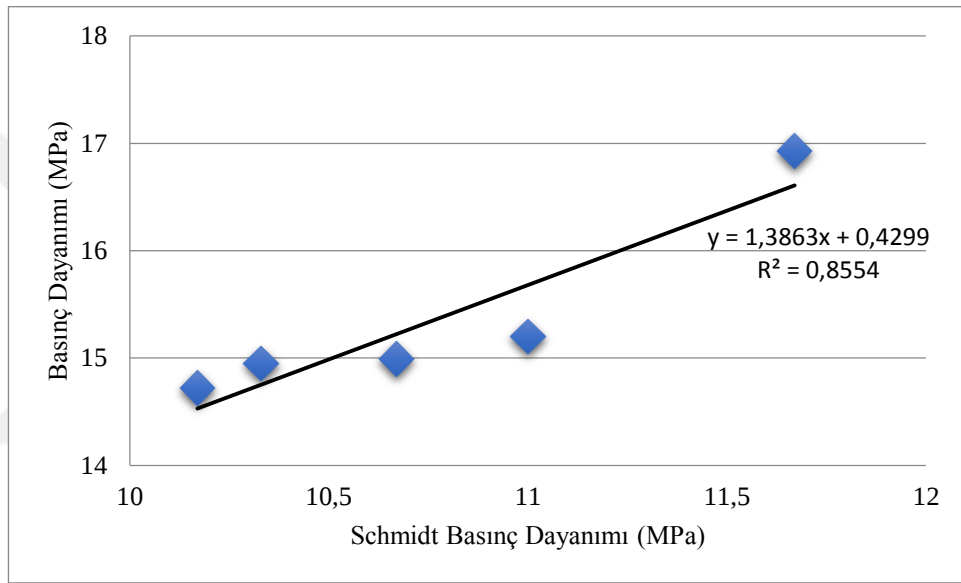
Düşük dayanımlı; referans, deniz kumlu, %3 deniz kabuklu, %6 deniz kabuklu, %9 deniz kabuklu olmak üzere 5 farklı içeriğe sahip 15 küp numuneye schmidt test çekici deneyi yapılmıştır. Her numuneye 10 vuruş yapılmış elde edilen geri tepme değerleri MPa birimine dönüştürülerek basınç dayanımları tespit edilmiştir. Referans numunelerde ortalama 11,67 MPa, deniz kumlu numunelerde ortalama 11,00 MPa, %3 deniz kabuklu numunelerde ortalama 10,67 MPa, %6 deniz kabuklu numunelerde ortalama 10,33 MPa, %9 deniz kabuklu numunelerde ortalama 10,17 MPa değerleri elde edilmiştir. Şekil 5.3'te numunelerden elde ortalama schmidt dayanımlarına ait sütun grafiği verilmiştir.



Şekil 5.3: Düşük dayanımlı numunelerin ortalama schmidt dayanımlarına ait sütun grafiği.

En yüksek schmidt dayanımı referans numunede elde edilirken, kabuk yüzdesi artıkça dayanımın düştüğü gözlemlenmiştir. Referans numuneye göre deniz kumlu numunelerde %5,67, %3 deniz kabuklu numunelerde %8,57 düşüş, %6 deniz kabuklu numunelerde %11,48, %9 deniz kabuklu numunelerde %12,85 düşüş gözlemlenmiştir.

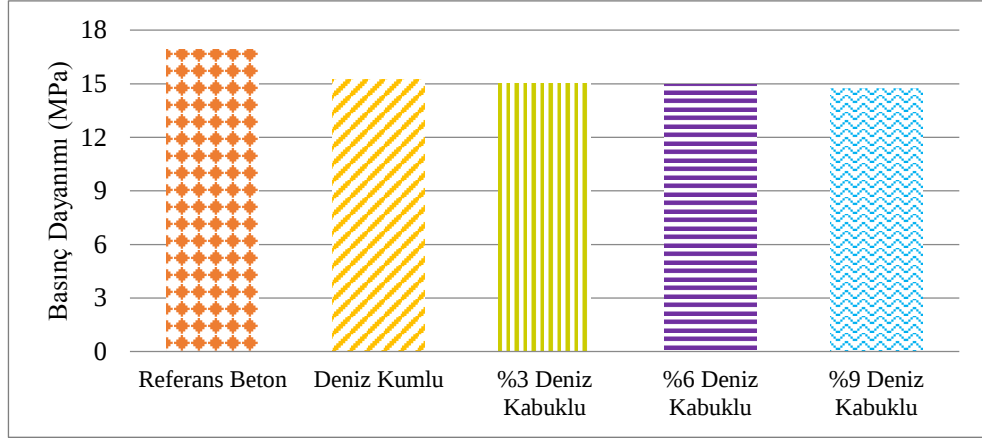
Basınç dayanımı-schmidt dayanımı tahmini korelasyonunda  $R^2$  değeri 0,8554'dir. %85,54'lik bir değer elde edilmiştir. Şekil 5.4'te verilmiştir.  $R^2$  değerinin 1'e yaklaşması güvenli kabul edildiğinde bu korelasyon grafiğinde yüksek bir ilişki ile uyum sağlanmıştır.



Şekil 5.4: Düşük dayanımlı numunelerin basınç-schmidt dayanımı korelasyon grafiği.

### 5.1.3. Basınç Deneyi Sonuçları

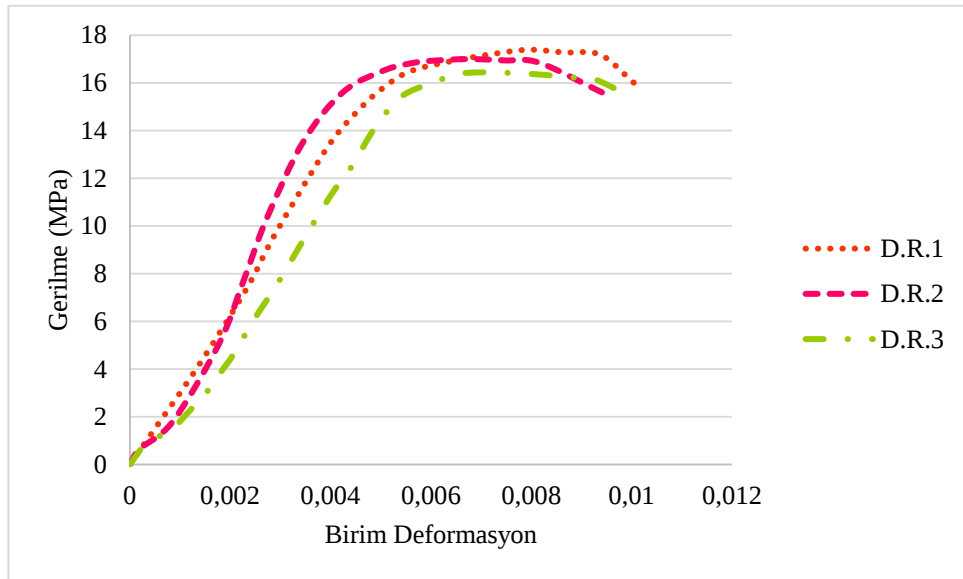
Düşük dayanımlı; referans, deniz kumlu, %3 deniz kabuklu, %6 deniz kabuklu, %9 deniz kabuklu olmak üzere 5 farklı içeriğe sahip 15 küp numuneye tek eksenli basınç deneyi yapılmıştır. Referans numunelerde ortalama 16,93 MPa, deniz kumlu numunelerde ortalama 15,26 MPa, %3 deniz kabuklu numunelerde ortalama 14,99 MPa, %6 deniz kabuklu numunelerde ortalama 14,95 MPa, %9 deniz kabuklu numunelerde ortalama 14,72 MPa basınç dayanımı değeri elde edilmiştir. Şekil 5.5'te numunelerden elde ortalama basınç dayanımlarına ait sütun grafiği verilmiştir.



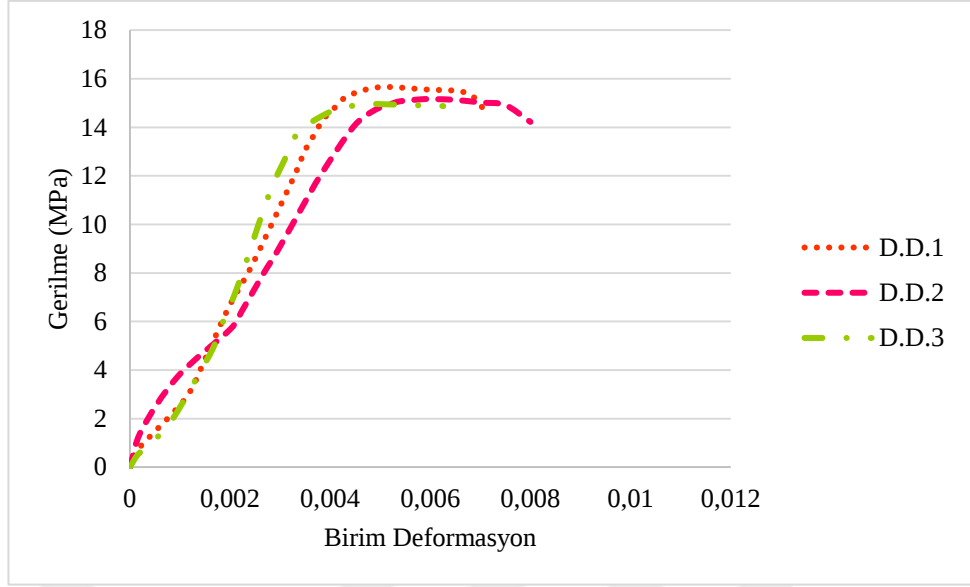
Şekil 5.5: Düşük dayanımlı numunelerin ortalama basınç dayanımı sonuçlarına ait sütun grafiği.

Düşük dayanımlı betonlarda; referans, deniz kumlu, %3 deniz kabuklu, %6 deniz kabuklu, %9 deniz kabuklu numunelere ait gerilme-birim deformasyon grafikleri sırasıyla Şekil 5.6, Şekil 5.7, Şekil 5.8, Şekil 5.9, Şekil 5.10'da verilmiştir. Şekil 5.11'de düşük dayanımlı numunelerin ortalama gerilme-birim deformasyon grafiği verilmiştir. Farklı içerikteki betonlar, her grubu temsil eden eğri grafiği ile karşılaştırılmıştır.

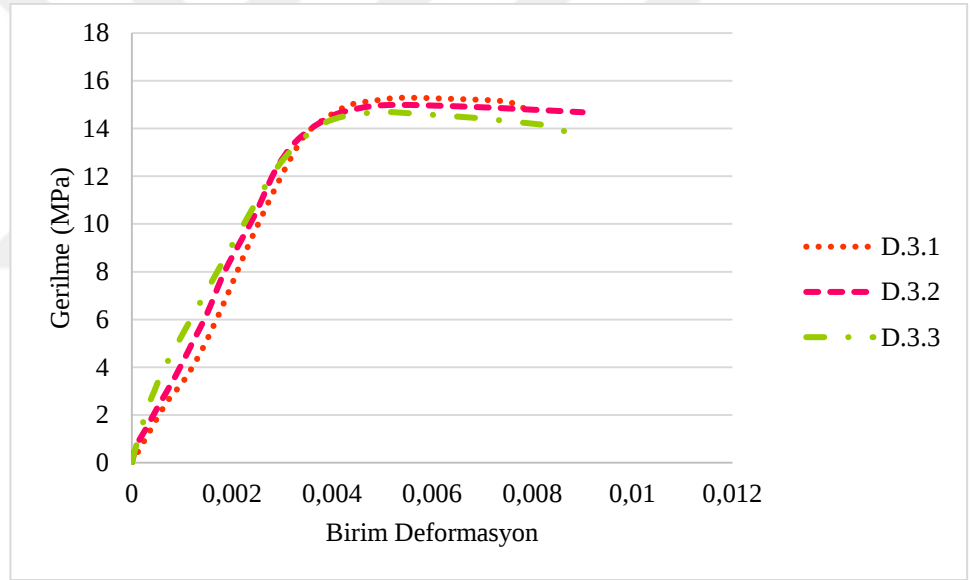
En yüksek basınç değeri referans numunede elde edilirken, kabuk yüzdesi artıkça dayanımın düştüğü gözlemlenmiştir. Referans numuneye göre deniz kumlu numunelerde; %9,86, %3 deniz kabuklu numunelerde %11,46, %6 deniz kabuklu numunelerde %11,69, %9 deniz kabuklu numunelerde %13,05 oranında dayanım düşüşü belirlenlenmiştir.



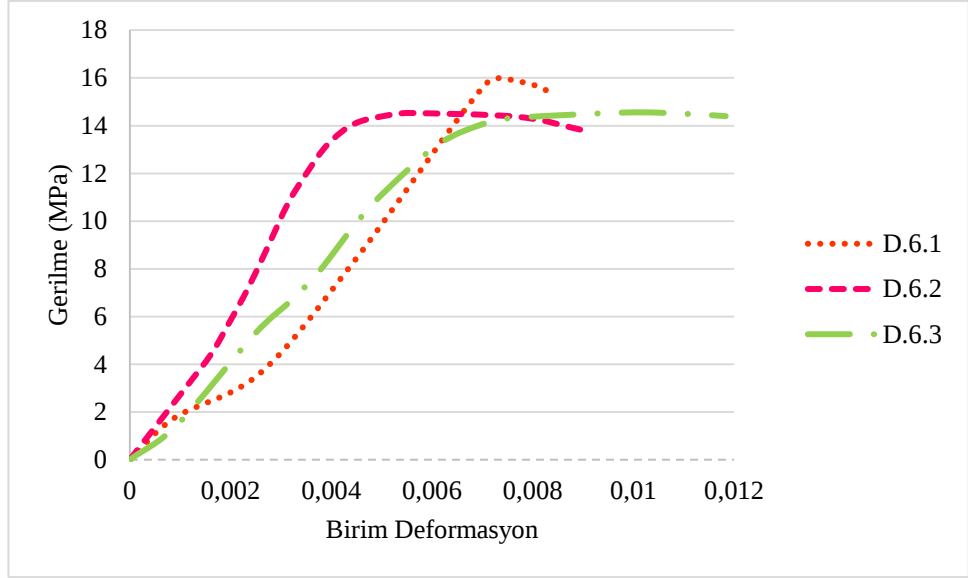
Şekil 5.6: Düşük dayanımlı referans numunelere ait gerilme-birim deformasyon grafiği.



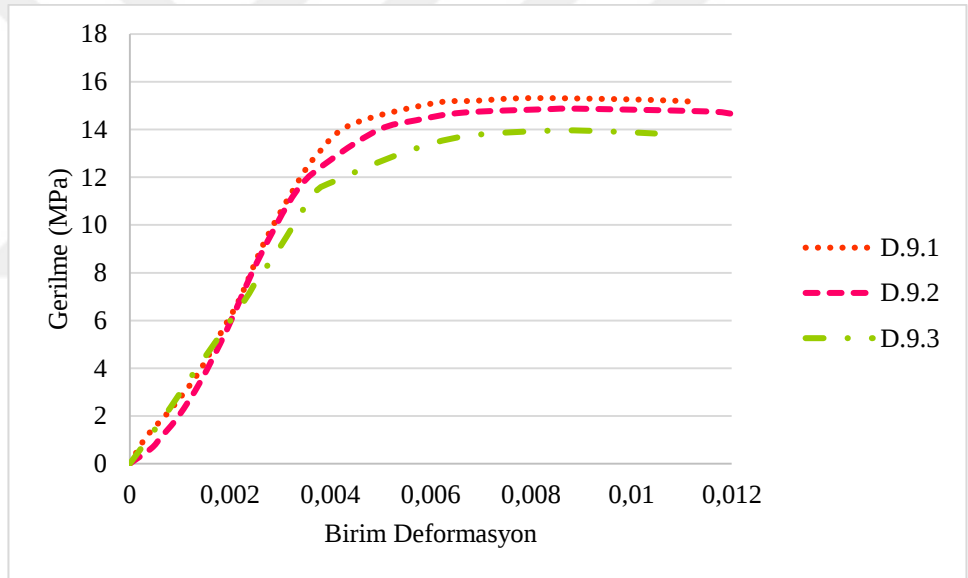
Şekil 5.7: Düşük dayanımlı deniz kumlu numunelere ait gerilme-birim deformasyon grafiği.



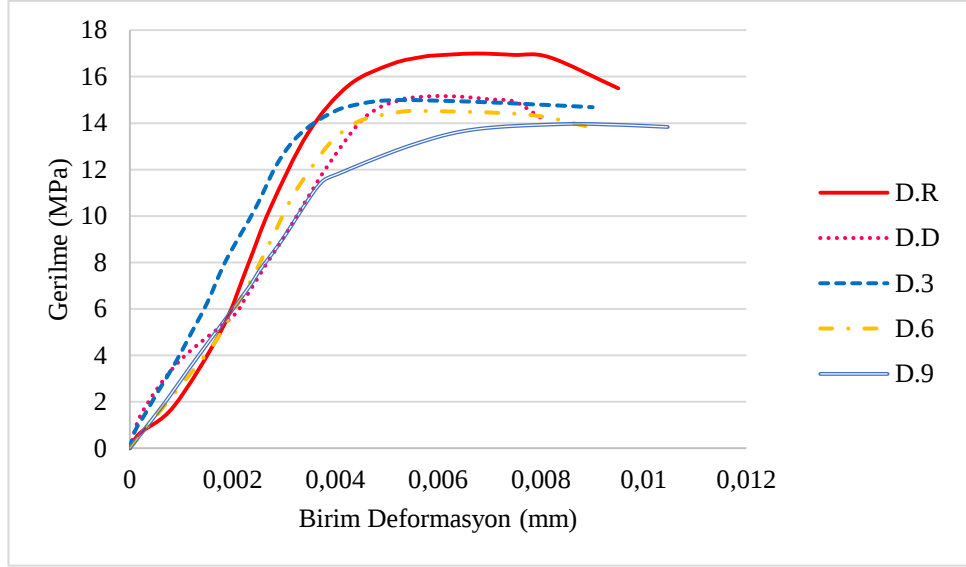
Şekil 5.8: Düşük dayanımlı %3 deniz kumlu numunelere ait gerilme-birim deformasyon grafiği.



Şekil 5.9: Düşük dayanımlı %6 deniz kumlu numunelere ait gerilme-birim deformasyon grafiği.



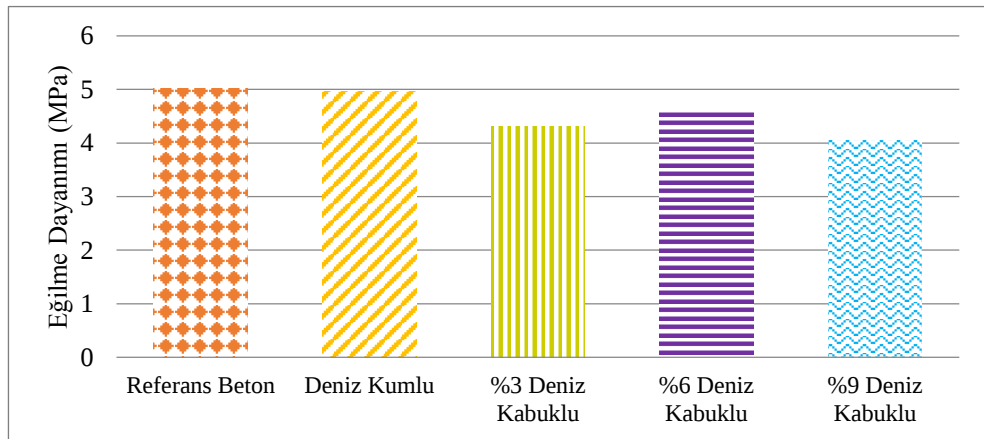
Şekil 5.10: Düşük dayanımlı %9 deniz kumlu numunelere ait gerilme-birim deformasyon grafiği.



Şekil 5.11: Düşük dayanımlı numunelerin ortalama gerilme-birim deformasyon grafiği.

#### 5.1.4. Eğilme deneyi sonuçları

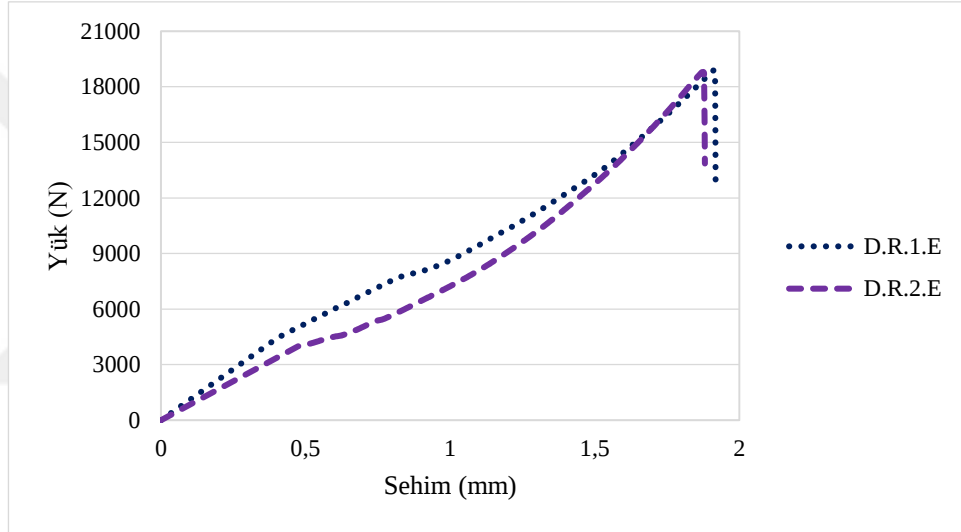
Düşük dayanımlı; referans, deniz kumlu, %3 deniz kabuklu, %6 deniz kabuklu, %9 deniz kabuklu olmak üzere 5 farklı içeriğe sahip 10 adet eğilme numunesine 3 noktalı eğilme deneyi yapılmıştır. Referans numunelerde ortalama 5,02 MPa, deniz kumlu numunelerde ortalama 4,96 MPa, %3 deniz kabuklu numunelerde ortalama 4,30 MPa, %6 deniz kabuklu numunelerde ortalama 4,60 MPa, %9 deniz kabuklu numunelerde ortalama 4,04 MPa eğilme dayanımı değeri elde edilmiştir. Şekil 5.12’de numunelerden elde ortalama eğilme dayanımlarına ait sütun grafiği verilmiştir.



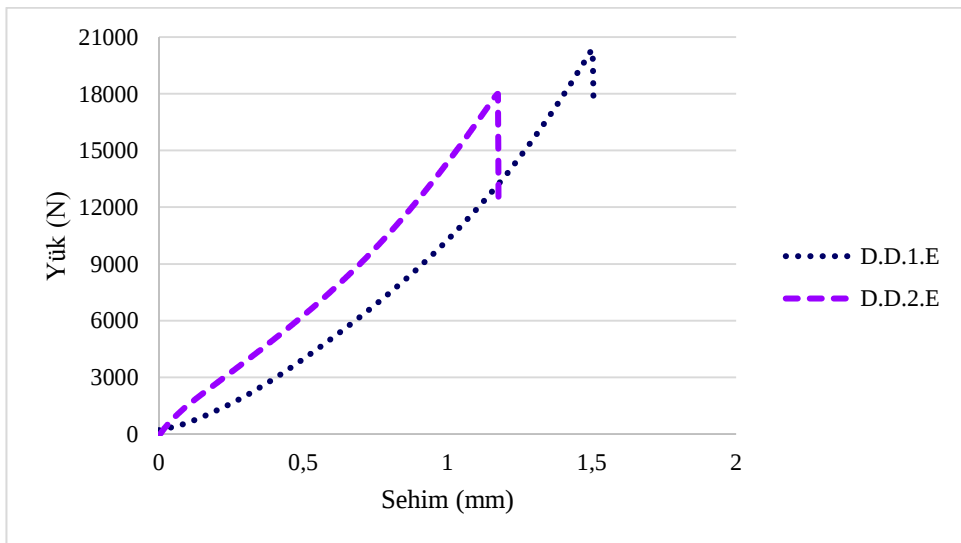
Şekil 5.12: Düşük dayanımlı numunelerin ortalama eğilme dayanımı sonuçlarına ait sütun grafiği.

Düşük dayanımlı betonlarda; referans, deniz kumlu, %3 deniz kabuklu, %6 deniz kabuklu, %9 deniz kabuklu numunelere ait yük-sehim grafikleri sırasıyla Şekil 5.13, Şekil 5.14, Şekil 5.15, Şekil 5.16, Şekil 5.17’de verilmiştir.

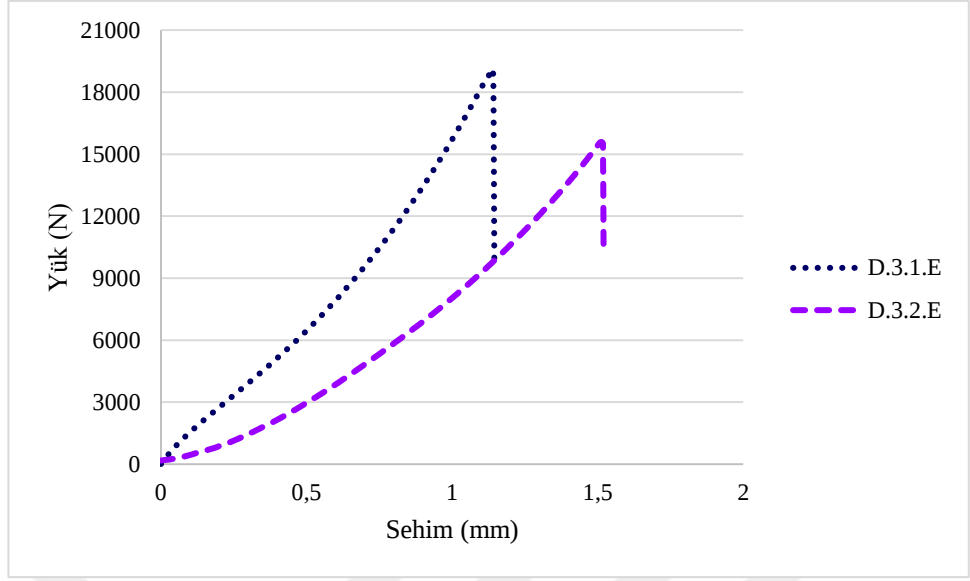
En yüksek eğilme dayanımı değeri referans numunelerde elde edilirken genel olarak kabuk miktarı arttıkça eğilme dayanımının düştüğü ancak %6 deniz kabuklu numunelerde %3 deniz kabuklu numunelere göre yaklaşık %7’lik bir artışın meydana geldiği gözlemlenmiştir. Referans numuneye göre deniz kumlu numunelerde %1,20 düşüş, %3 deniz kabuklu numunelerde %14,34 düşüş, %6 deniz kabuklu numunelerde %8,7 düşüş, %9 deniz kabuklu numunelerde %19,52 düşüş gözlemlenmiştir.



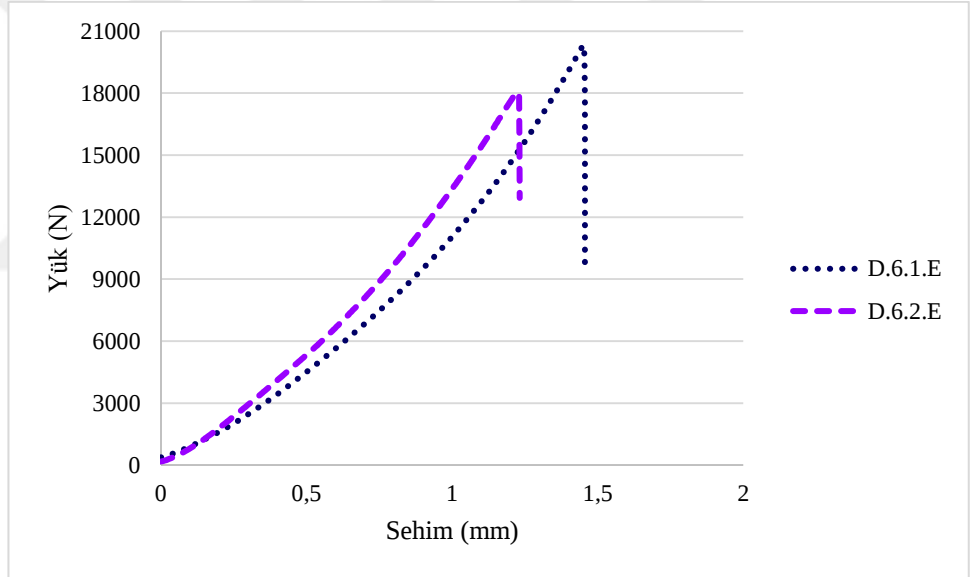
Şekil 5.13: Düşük dayanımlı referans numunelere ait yük-sehim grafiği.



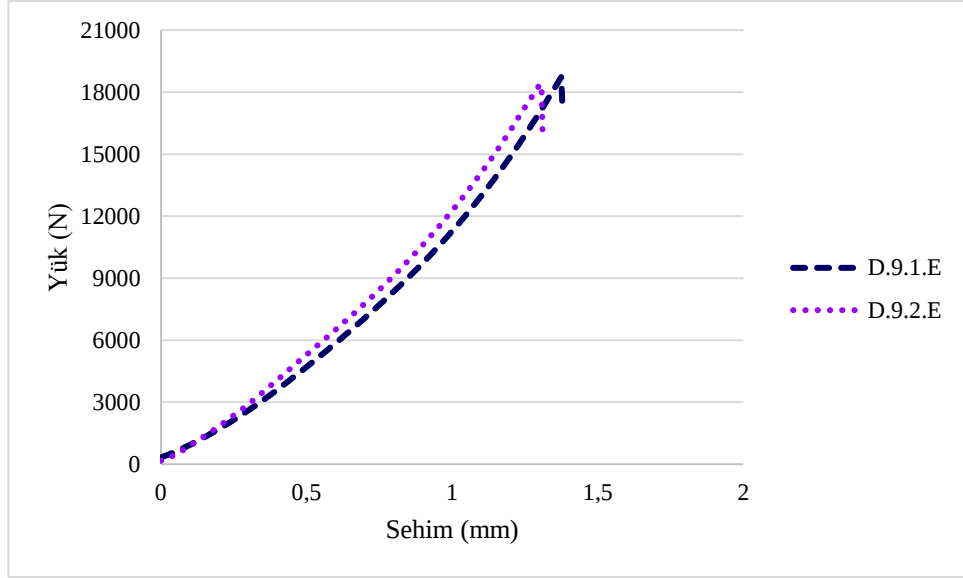
Şekil 5.14: Düşük dayanımlı deniz kumlu numunelere ait yük-sehim grafiği.



Şekil 5.15: Düşük dayanımlı %3 deniz kabuklu numunelere ait yük-sehim grafiği.

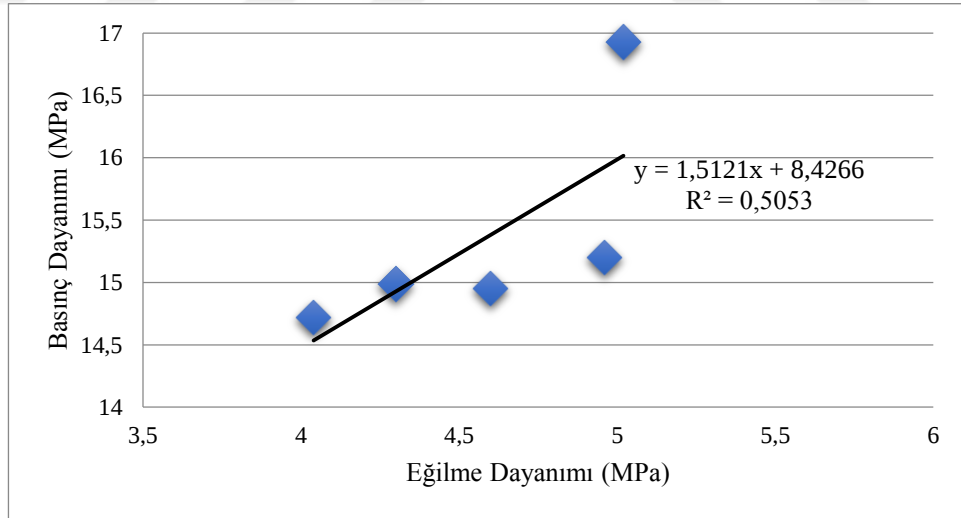


Şekil 5.16: Düşük dayanımlı %6 deniz kabuklu numunelere ait yük-sehim grafiği.



Şekil 5.17: Düşük dayanımlı %9 deniz kabuklu numunelere ait yük-sehim grafiği.

Şekil 5.18’de düşük dayanımlı numunelerin basınç dayanımı-eğilme dayanımı korelasyon grafiği verilmiştir. Basınç dayanımı-eğilme dayanımı tahmini korelasyonunda  $R^2$  değeri 0,5053’dir. %50,53’lik bir değer elde edilmiştir.  $R^2$  değerinin 1’e yaklaşması güvenli kabul edildiğinde bu korelasyon grafiğinde düşük bir uyum sağlanmıştır.



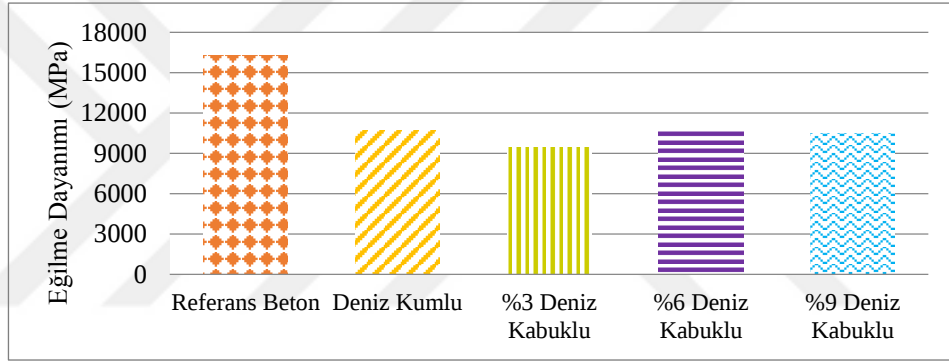
Şekil 5.18: Düşük dayanımlı numunelerin basınç dayanımı-eğilme dayanımı korelasyon grafiği.

Eğilme numunelerine ait tokluk değerleri Tablo 5.3’te verilmiştir. En yüksek enerji sönümleme kapasitesi yani tokluk, referans betonda gözlemlenmiştir. Kırılma tokluğunun referans numuneye göre kabuk miktarı arttıkça düştüğü gözlemlenmiştir. Ancak %6 ve %9 deniz kabuklu numunelerin tokluk değeri %3 deniz kabuklu numunelerden yüksek

çıkmiştir. Referans numunelere göre deniz kumlu numunelerde %34.29, %3 deniz kabuklu numunelerde %41.95, %6 deniz kabuklu numunelerde %34.57, %9 deniz kabuklu numunelerde %35.75 oranında tokluk düşüşü belirlenmiştir. Düşük dayanımlı eğilme numunelerine ait ortalama tokluk değerleri Şekil 5.19’da sütun grafiği olarak verilmiştir.

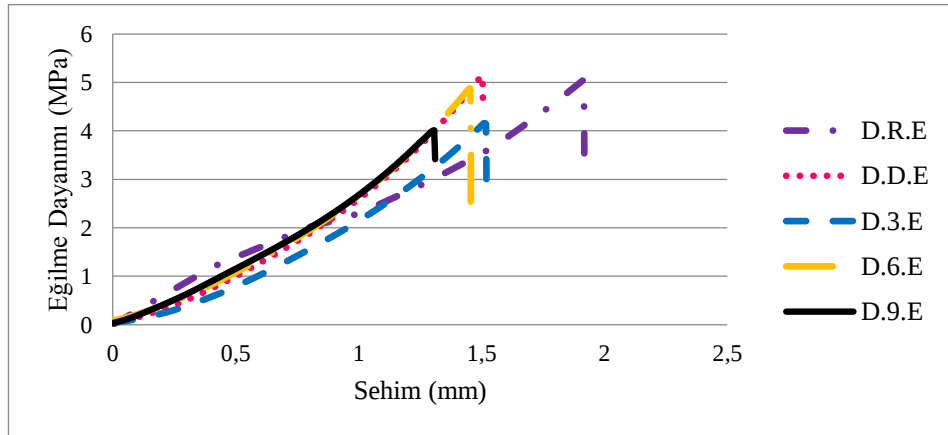
Tablo 5.3: Düşük dayanımlı eğilme numuneleri tokluk hesaplamaları.

| Num. No. | D.R.E            | D.D.E            | D.3.E           | D.6.E            | D.9.E            |
|----------|------------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|
| 1.       | 16988,90<br>N.mm | 11896,83<br>N.mm | 9520,72<br>N.mm | 11882,40<br>N.mm | 10641,22<br>N.mm |
| 2.       | 15554,51<br>N.mm | 9486,07<br>N.mm  | 9370,50<br>N.mm | 9408,03<br>N.mm  | 10270,00<br>N.mm |
| Ortalama | 16271,71<br>N.mm | 10691,45<br>N.mm | 9445,61<br>N.mm | 10645,22<br>N.mm | 10455,61<br>N.mm |



Şekil 5.19: Düşük dayanımlı eğilme numunelerinin ortalama tokluk sütun grafiği.

Düşük dayanımlı eğilme numunelerinin eğilme dayanımı-sehim karşılaştırma grafiği Şekil 5.20’de verilmiştir. Kabuk miktarı arttıkça sehim azaldığı dayanımın düştüğü tespit edilmiştir.



Şekil 5.20: Düşük dayanımlı eğilme numunelerinin eğilme dayanımı-sehim karşılaştırma grafiği.

## 5.2. Normal Dayanımlı Beton Numunelere Ait Deneysel Sonuçlar

Normal dayanımlı; referans, deniz kumlu, %3 deniz kabuklu, %6 deniz kabuklu, %9 deniz kabuklu olmak üzere 5 farklı türde üretilmiş 15x15x15 cm boyutlarında 15 adet küp numuneye birim hacim ağırlık, ultrases, schmidt, tek eksenli basınç deneyleri; 10x10x25 cm boyutlarında 10 adet eğilme numunesine 3 noktalı eğilme deneyi yapıldı. Deney sonuçlarına ait tüm veriler Tablo 5.4’te verilmiştir.

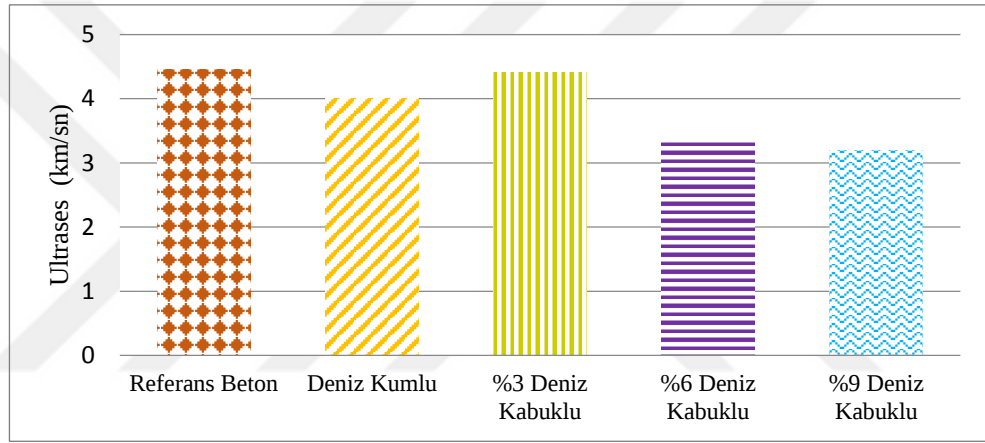


Tablo 5.4: Normal dayanımlı beton numunelerin tahribatlı ve tahribatsız deneylerine ait deney sonuçları.

| Normal Dayanımlı Betonlar | Numune No | Birim Hacim Ağırlık Deneyi (kg/cm <sup>3</sup> ) | Ort. (kg/cm <sup>3</sup> ) | Ultrases Deneyi (km/sn) | Ort. (km/sn) | Schmidt Deneyi (MPa) | Ort. (MPa) | Basınç Deneyi (MPa) | Ort. (MPa) | Eğilme Deneyi (MPa) | Ort. (MPa) |
|---------------------------|-----------|--------------------------------------------------|----------------------------|-------------------------|--------------|----------------------|------------|---------------------|------------|---------------------|------------|
| Referans                  | 1         | 2405,93                                          | 2374,32                    | 4,51                    | 4,45         | 19                   | 17,35      | 26,82               | 26,66      | 6,27                | 6,23       |
|                           | 2         | 2358,52                                          |                            | 4,49                    |              | 17,8                 |            | 26,64               |            | 6,18                |            |
|                           | 3         | 2358,52                                          |                            | 4,36                    |              | 15,25                |            | 26,52               |            | -                   |            |
| Deniz Kumlu               | 1         | 2322,96                                          | 2313,09                    | 4,03                    | 4,01         | 13,5                 | 12,50      | 21,33               | 20,11      | 5,83                | 5,38       |
|                           | 2         | 2311,11                                          |                            | 4,00                    |              | 12                   |            | 20,20               |            | 4,92                |            |
|                           | 3         | 2305,19                                          |                            | 3,99                    |              | 12                   |            | 18,81               |            | -                   |            |
| %3 Deniz Kabuklu          | 1         | 2317,04                                          | 2311,11                    | 4,55                    | 4,41         | 19,5                 | 17,92      | 26,00               | 24,93      | 6,21                | 6,11       |
|                           | 2         | 2317,04                                          |                            | 4,39                    |              | 17,5                 |            | 24,79               |            | 6,00                |            |
|                           | 3         | 2299,26                                          |                            | 4,28                    |              | 16,75                |            | 24,01               |            | -                   |            |
| %6 Deniz Kabuklu          | 1         | 2322,96                                          | 2303,21                    | 3,54                    | 3,36         | 16,75                | 15,25      | 21,89               | 21,07      | 5,83                | 5,70       |
|                           | 2         | 2299,26                                          |                            | 3,36                    |              | 15,5                 |            | 21,39               |            | 5,57                |            |
|                           | 3         | 2287,41                                          |                            | 3,17                    |              | 13,5                 |            | 19,92               |            | -                   |            |
| %9 Deniz Kabuklu          | 1         | 2358,52                                          | 2338,77                    | 3,31                    | 3,19         | 18,25                | 16,58      | 22,68               | 20,42      | 5,47                | 5,09       |
|                           | 2         | 2334,81                                          |                            | 3,21                    |              | 16                   |            | 19,92               |            | 4,71                |            |
|                           | 3         | 2322,96                                          |                            | 3,04                    |              | 15,5                 |            | 18,65               |            | -                   |            |

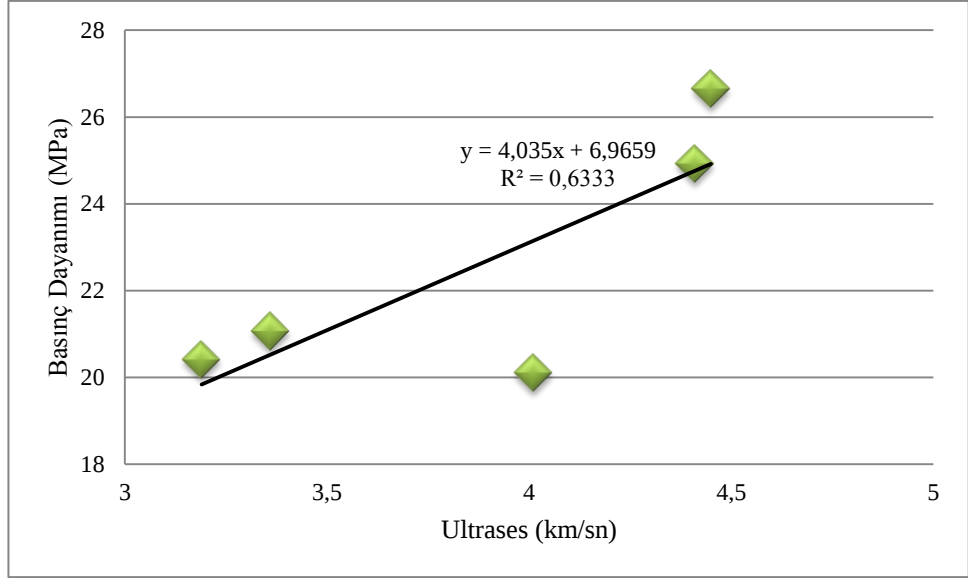
### 5.2.1. Ultrases deneyi sonuçları

Referans numunelerde ortalama 4,45 km/sn, deniz kumlu numunelerde ortalama 4,01 km/sn, %3 deniz kabuklu numunelerde ortalama 4,41 km/sn, %6 deniz kabuklu numunelerde ortalama 3,36 km/sn, %9 deniz kabuklu numunelerde ortalama 3,19 km/sn değerleri elde edilmiştir. Tablo 4.5'e (ses hızı-beton kalitesi ilişkisi) göre referans, deniz kumlu, %3 deniz kabuklu beton numunelere ait sonuçlar, betonların iyi kalitede olduğunu; %6 ve %9 deniz kabuklu beton numunelere ait sonuçlar ise bu betonların şüpheli kalitede göstermektedir. Şekil 5.21'de numunelerden elde edilen ortalama ultrases sonuçlarına ait sütun grafiği verilmiştir.



Şekil 5.21: Normal dayanımlı numunelerin ortalama ultrases sonuçlarına ait sütun grafiği.

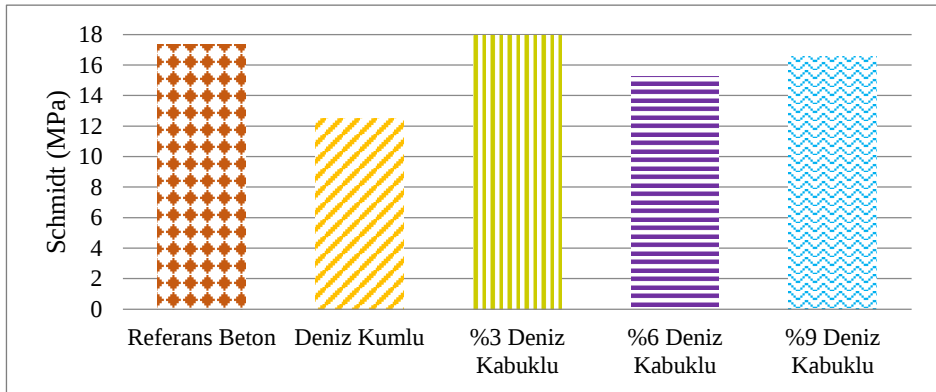
Şekil 5.22'de normal dayanımlı numunelerin basınç dayanımı-ultrases korelasyon grafiği verilmiştir. Basınç dayanımı-ultrases tahmini korelasyonunda  $R^2$  değeri 0,6333'dir. %63,33'lük bir değer elde edilmiştir. Bu korelasyon grafiğinde ortalama bir uyum sağlanmıştır.



Şekil 5.22: Normal dayanımlı numunelerin basınç dayanımı-ultras korelasyon grafiği.

### 5.2.2. Schmidt deneyi sonuçları

Referans numunelerde ortalama 17,35 MPa, deniz kumlu numunelerde ortalama 12,50 MPa, %3 deniz kabuklu numunelerde ortalama 17,92 MPa, %6 deniz kabuklu numunelerde ortalama 15,25 MPa, %9 deniz kabuklu numunelerde ortalama 16,58 MPa değerleri elde edilmiştir. Şekil 5.23'te numunelerden elde ortalama schmidt dayanımlarına ait sütun grafiği verilmiştir.

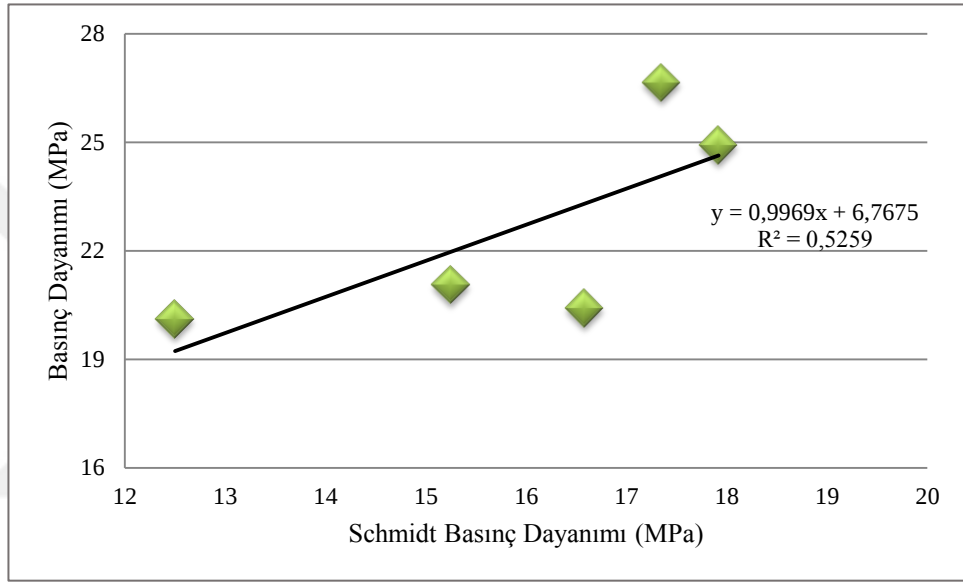


Şekil 5.23: Normal dayanımlı numunelerin ortalama schmidt sonuçlarına ait sütun grafiği.

En yüksek schmidt basınç değeri %3 deniz kabuklu numunelerde elde edilmiştir. Referans numuneye göre; en yüksek dayanım kaybı deniz kumlu numunede görülürken, %3 deniz kabuklu numunede dayanım artışı belirlenmiştir.

Referans numuneye göre deniz kumlu numunelerde %27.95, %3 deniz kabuklu numunelerde %-3.29, %6 deniz kabuklu numunelerde %12.10, %9 deniz kabuklu numunelerde %4.44 düşüş belirlenmiştir.

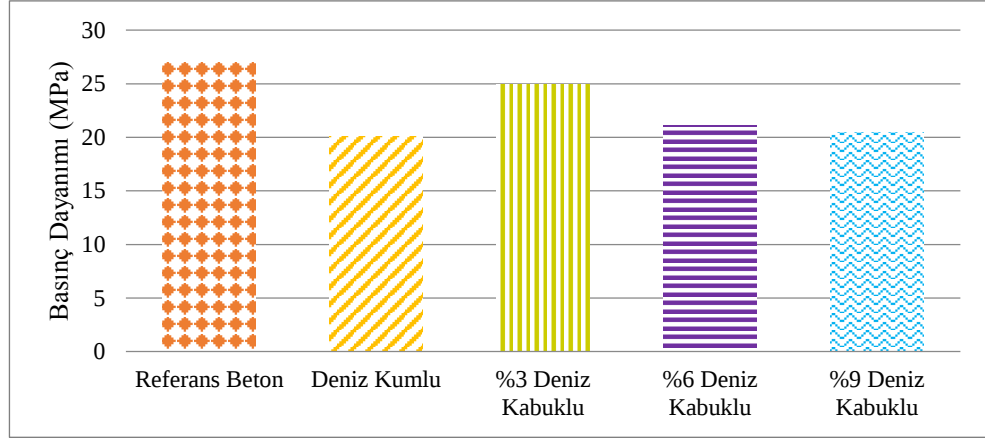
Şekil 5.24'te normal dayanımlı numunelerin basınç dayanımı-schmidt korelasyon grafiği verilmiştir. Basınç dayanımı-schmidt dayanımı tahmini korelasyonunda  $R^2$  değeri 0,5259'dır. %52,59'luk bir değer elde edilmiştir. Bu korelasyon grafiğinde düşük bir uyum sağlanmıştır.



Şekil 5.24: Normal dayanımlı numunelerin basınç dayanımı-schmidt korelasyon grafiği.

### 5.2.3. Basınç deneyi sonuçları

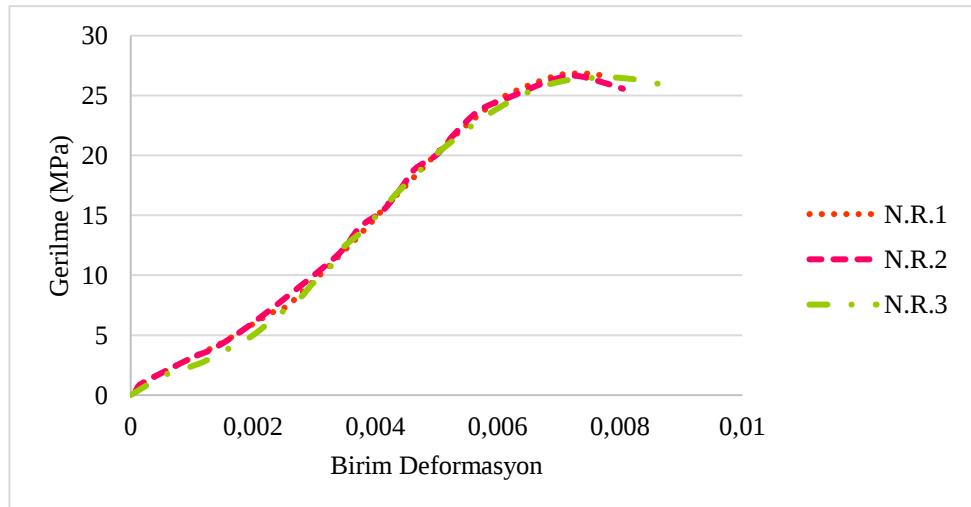
Referans numunelerde ortalama 26,66 MPa, deniz kumlu numunelerde ortalama 20,11 MPa, %3 deniz kabuklu numunelerde ortalama 24,93 MPa, %6 deniz kabuklu numunelerde ortalama 21,07 MPa, %9 deniz kabuklu numunelerde ortalama 20,42 MPa basınç dayanımı değeri elde edilmiştir. Şekil 5.25'te numunelerden elde ortalama basınç dayanımlarına ait sütun grafiği verilmiştir.



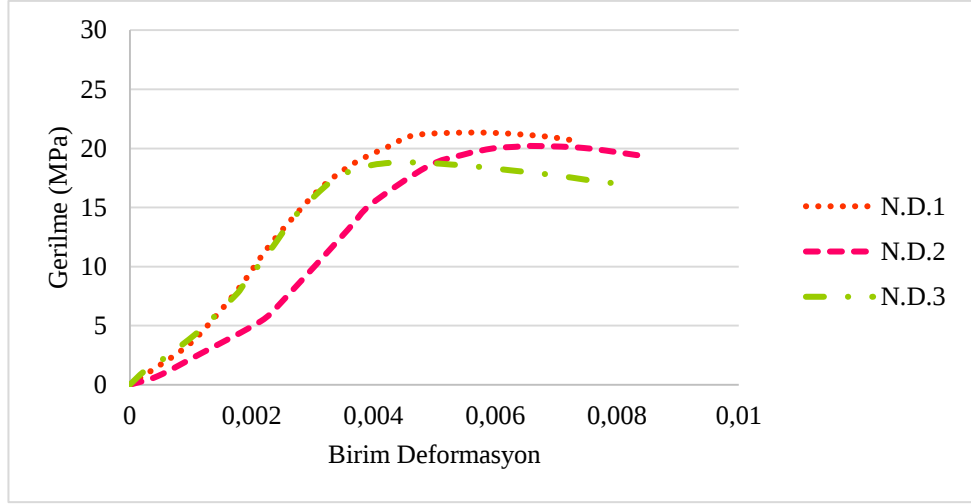
Şekil 5.25: Normal dayanımlı numunelerin ortalama basınç dayanımı sonuçlarına ait sütun grafiği.

Normal dayanımlı betonlarda; referans, deniz kumlu, %3 deniz kabuklu, %6 deniz kabuklu, %9 deniz kabuklu numunelere ait gerilme-birim deformasyon grafikleri sırasıyla Şekil 5.26, Şekil 5.27, Şekil 5.28, Şekil 5.29, Şekil 5.30 'da verilmiştir. Şekil 5.30'da normal dayanımlı numunelerin ortalama gerilme-birim deformasyon grafiği verilmiştir. Farklı içerikteki betonlar, her grubu temsil eden eğri grafiği ile Şekil 5.31'de karşılaştırılmıştır.

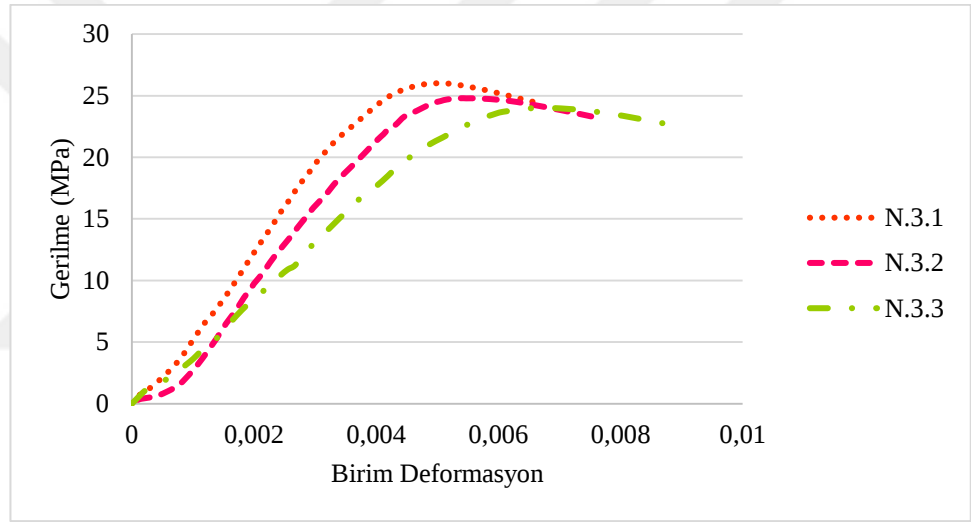
En yüksek basınç değeri referans numunede en düşük dayanım değeri deniz kumlu numunede elde edilirken, kabuk yüzdesi artıkça dayanımın düştüğü gözlemlenmiştir. Referans numuneye göre deniz kumlu numunelerde %24.57, %3 deniz kabuklu numunelerde %6.49, %6 deniz kabuklu numunelerde %20.97, %9 deniz kabuklu numunelerde %23.41 oranında dayanım düşüşü belirlenmiştir.



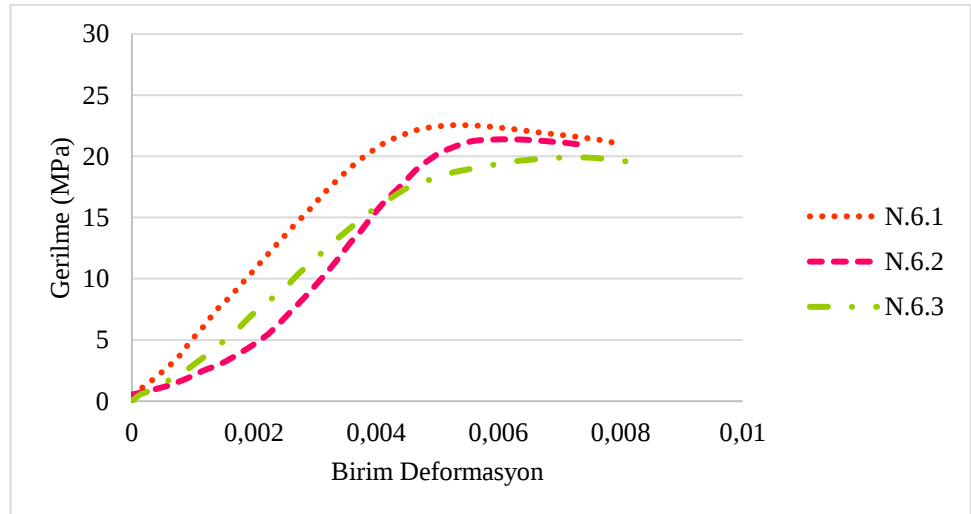
Şekil 5.26: Normal dayanımlı referans numunelere ait gerilme-birim deformasyon grafiği.



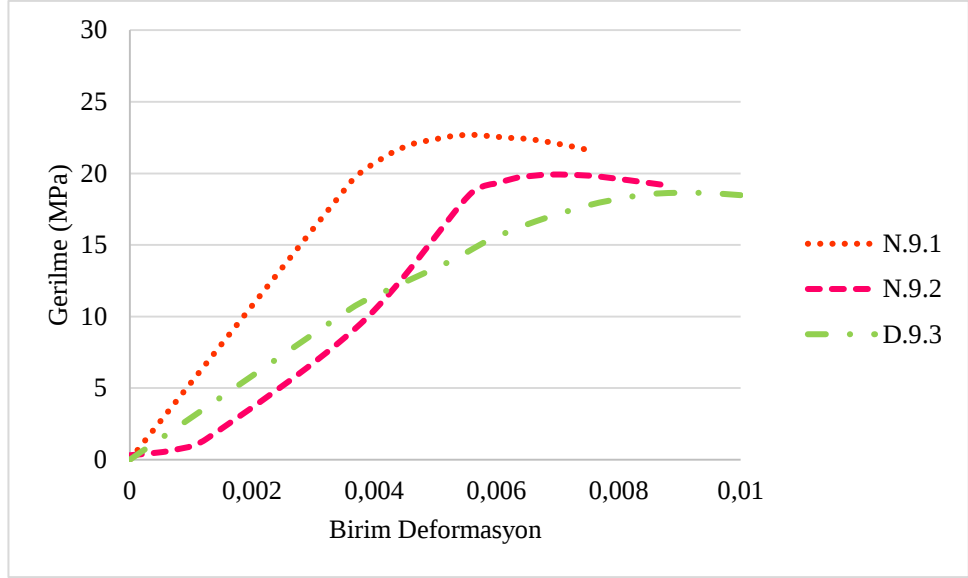
Şekil 5.27: Normal dayanımlı deniz kumlu numunelere ait gerilme-birim deformasyon grafiği.



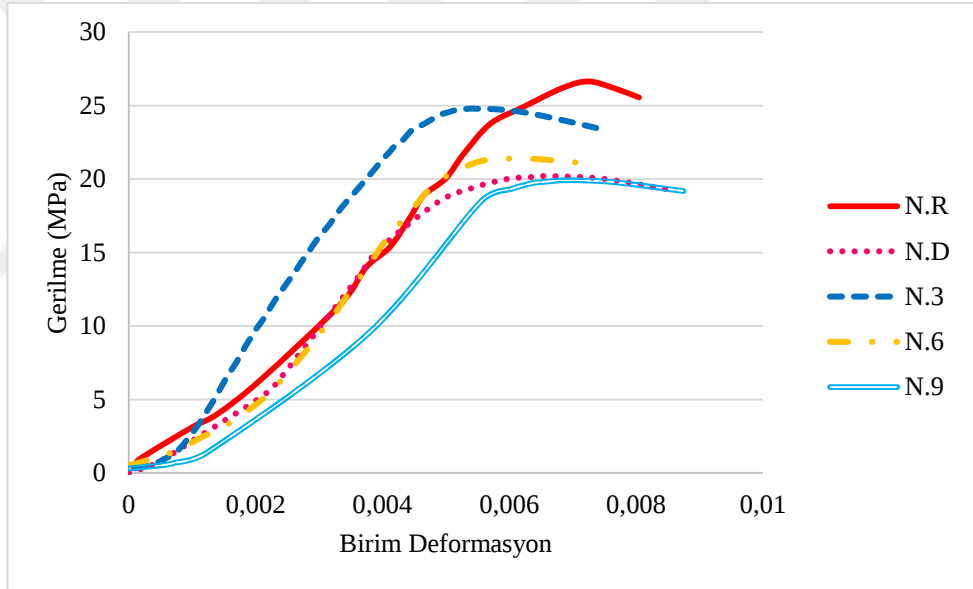
Şekil 5.28: Normal dayanımlı %3 deniz kabuklu numunelere ait gerilme-birim deformasyon grafiği.



Şekil 5.29: Normal dayanımlı %6 deniz kabuklu numunelere ait gerilme-birim deformasyon grafiği.



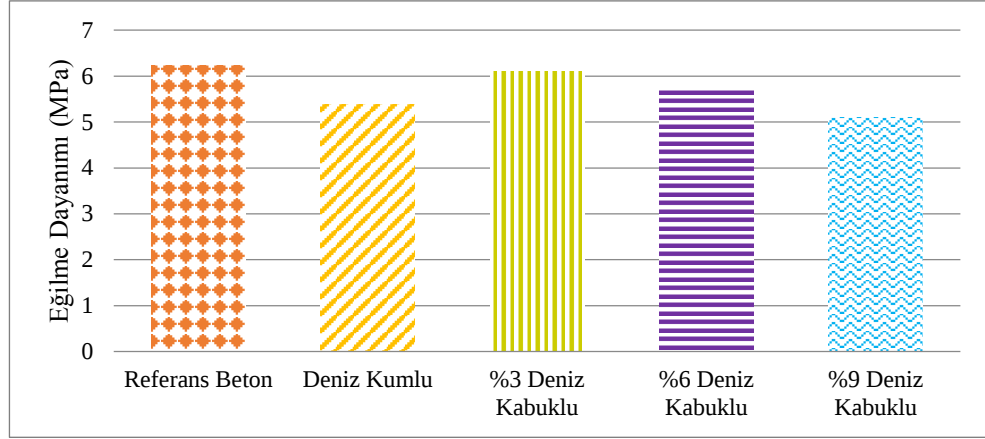
Şekil 5.30: Normal dayanımlı %9 deniz kabuklu numunelere ait gerilme-birim deformasyon grafiği.



Şekil 5.31: Normal dayanımlı numunelere ait ortalama gerilme-birim deformasyon grafiği.

#### 5.2.4. Eğilme deneyi sonuçları

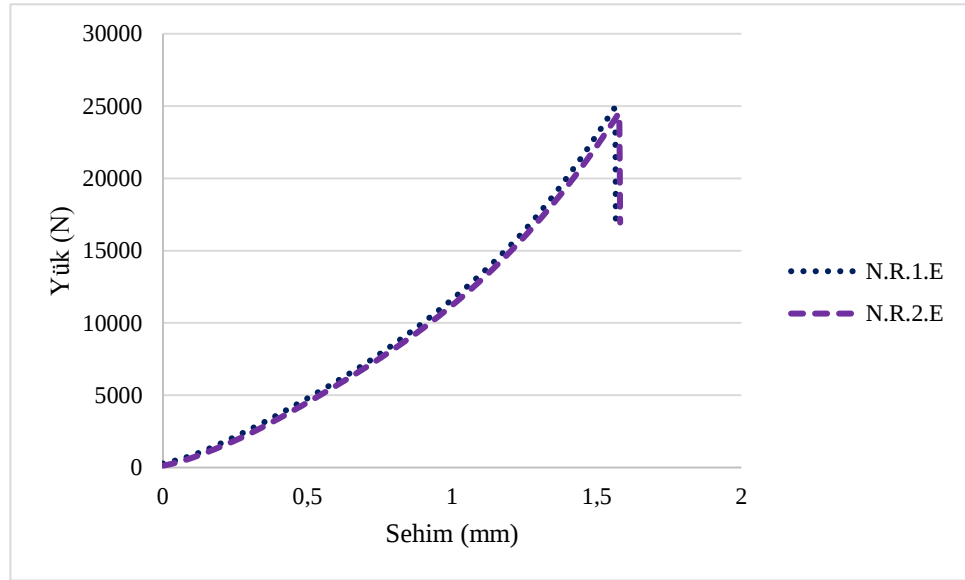
Referans numunelerde ortalama 6,23 MPa, deniz kumlu numunelerde ortalama 5,38 MPa, %3 deniz kabuklu numunelerde ortalama 6,11 MPa, %6 deniz kabuklu numunelerde ortalama 5,70 MPa, %9 deniz kabuklu numunelerde ortalama 5,09 MPa eğilme dayanımı değeri elde edilmiştir. Şekil 5.32’de numunelerden elde ortalama eğilme dayanımlarına ait sütun grafiği verilmiştir.



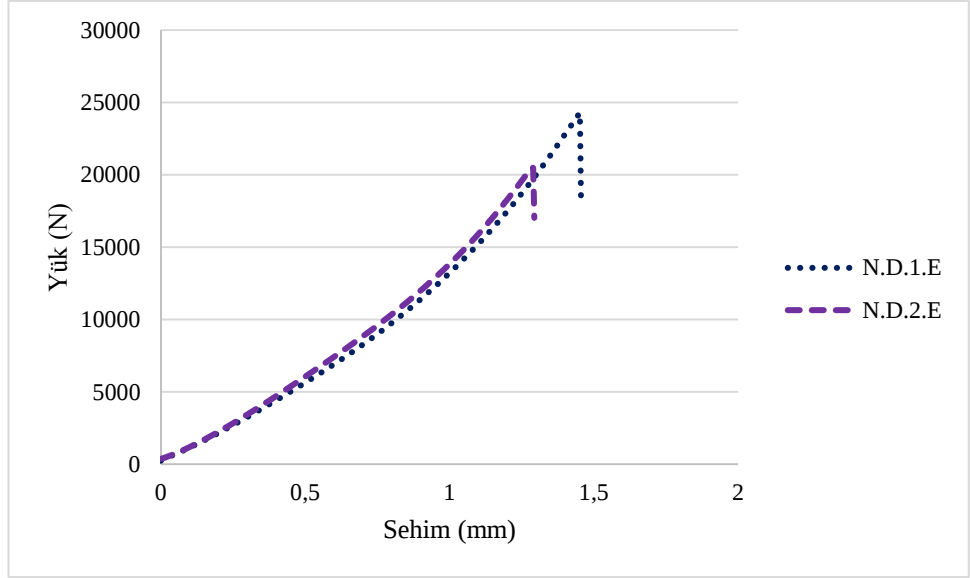
Şekil 5.32: Normal dayanımlı numunelerin ortalama eğilme dayanımı sonuçlarına ait sütun grafiği.

En yüksek eğilme dayanımı değeri referans numunelerde elde edilirken, kabuk miktarı arttıkça eğilme dayanımının düştüğü gözlemlenmiştir. Referans numuneye göre deniz kumlu numunelerde %13.64, %3 deniz kabuklu numunelerde %1.93, %6 deniz kabuklu numunelerde %8.51, %9 deniz kabuklu numunelerde %18,30 düşüş gözlemlenmiştir.

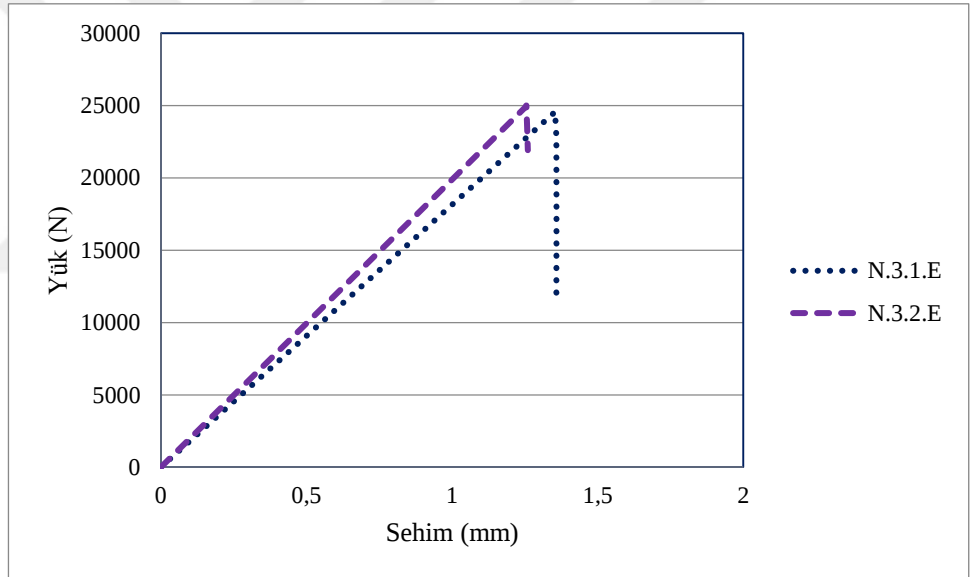
Normal dayanımlı betonlarda; referans, deniz kumlu, %3 deniz kabuklu, %6 deniz kabuklu, %9 deniz kabuklu numunelere ait yük-sehim grafikleri sırasıyla Şekil 5.33, Şekil 5.34, Şekil 5.35, Şekil 5.36, Şekil 5.37’de verilmiştir.



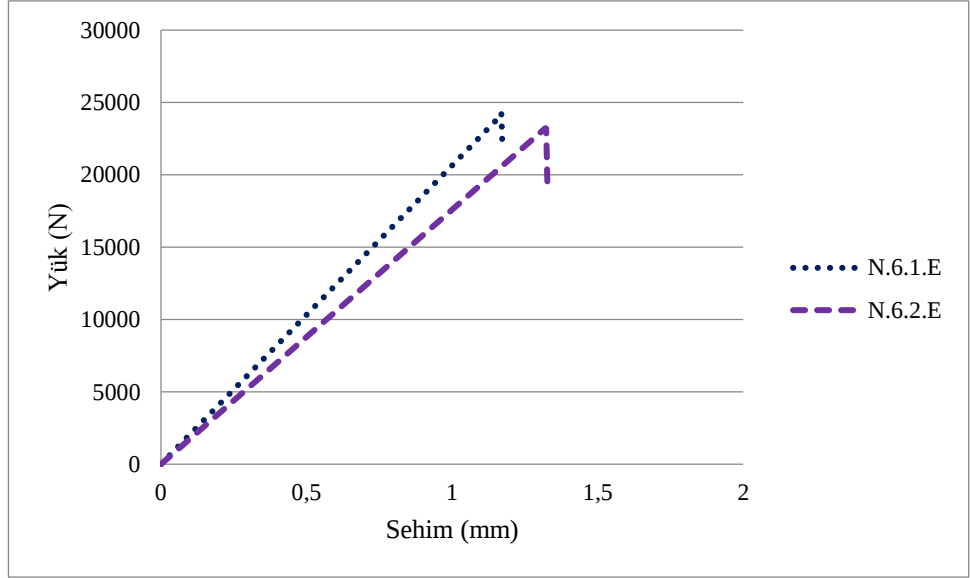
Şekil 5.33: Normal dayanımlı referans numunelere ait yük-sehim grafiği.



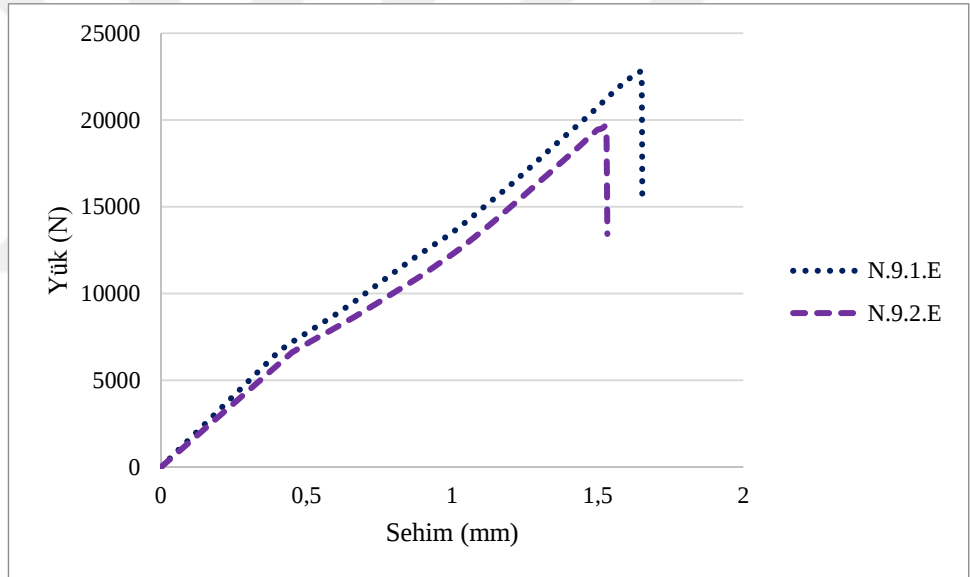
Şekil 5.34: Normal dayanımlı deniz kumlu numunelere ait yük-sehim grafiği.



Şekil 5.35: Normal dayanımlı %3 deniz kabuklu numunelere ait yük-sehim grafiği.

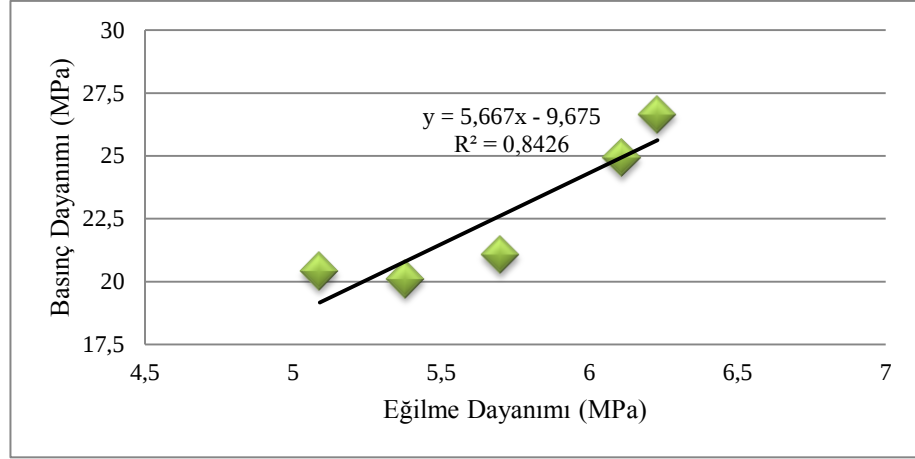


Şekil 5.36: Normal dayanımlı %6 deniz kabuklu numunelere ait yük-sehim grafiği.



Şekil 5.37: Normal dayanımlı %9 deniz kabuklu numunelere ait yük-sehim grafiği.

Basınç dayanımı-eğilme dayanımı tahmini korelasyonunda  $R^2$  değeri 0,8426'dır. %84,26'lık bir değer elde edilmiştir. Şekil 5.38'de basınç dayanımı-eğilme dayanımı korelasyon grafiği verilmiştir. Bu korelasyon grafiğinde iyi bir uyum sağlanmıştır.



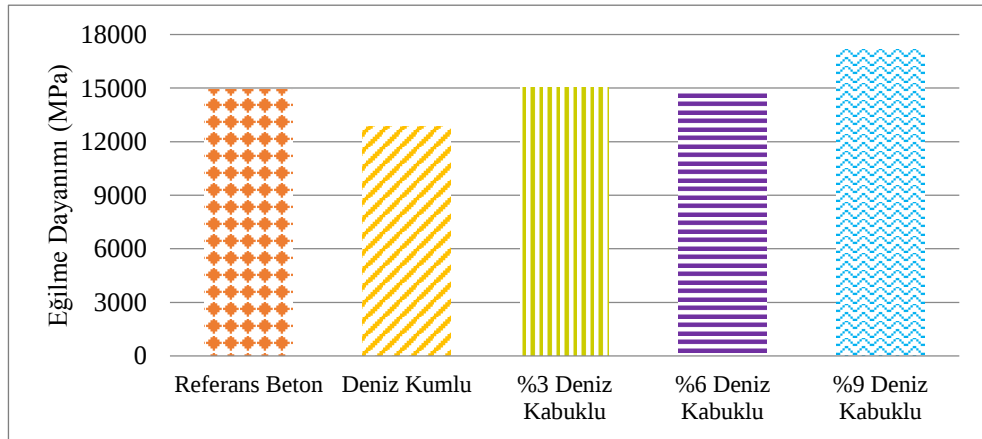
Şekil 5.38: Normal dayanımlı numunelere ait basınç dayanımı-eğilme dayanımı korelasyon grafiği.

Şekil 5.39’da normal dayanımlı eğilme numunelerine ait ortalama tokluk değerleri sütun grafiği olarak verilmiştir. En yüksek enerji tutabilme kapasitesi, %9 deniz kabuklu betonda gözlemlenmiştir. çıkmıştır. Sonuçlar Tablo 5.5’te verilmiştir.

Tablo 5.5: Normal dayanımlı eğilme numuneleri tokluk hesaplamaları.

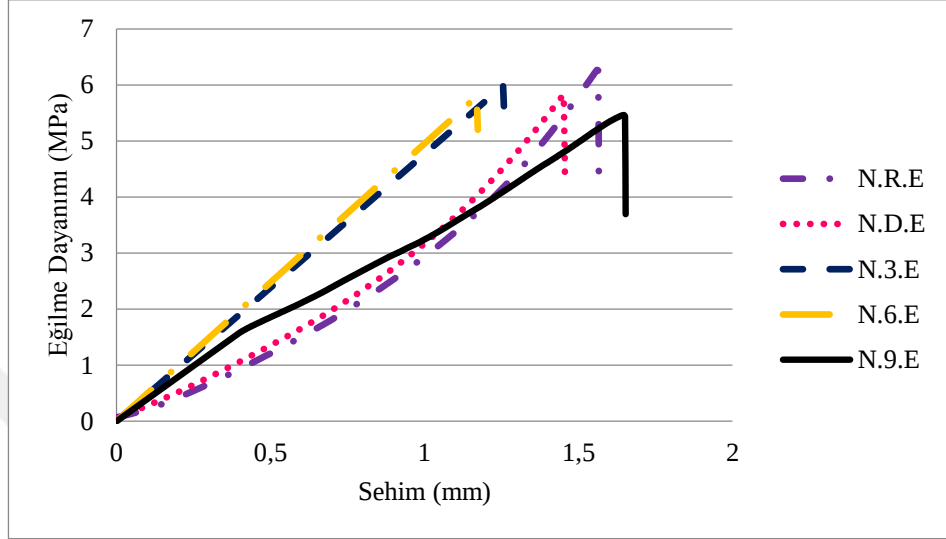
| Num. No. | N.R.E            | N.D.E            | N.3.E            | N.6.E            | N.9.E            |
|----------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 1.       | 15058,28<br>N.mm | 14338,25<br>N.mm | 14279,72<br>N.mm | 14205,48<br>N.mm | 19199,39<br>N.mm |
| 2.       | 14835,02<br>N.mm | 11344,72<br>N.mm | 15775,12<br>N.mm | 15484,26<br>N.mm | 15123,54<br>N.mm |
| Ortalama | 14946,65<br>N.mm | 12841,49<br>N.mm | 15027,42<br>N.mm | 14844,87<br>N.mm | 17161,47<br>N.mm |

Referans numuneye göre deniz kumlu numunelerde %14,08, %6 deniz kabuklu numunelerde %0,68 tokluk düşüşü belirlenirken, %3 deniz kabuklu numunelerde %0,54, %9 deniz kabuklu numunelerde % 14,82 tokluk artışı belirlenmiştir.



Şekil 5.39: Normal dayanımlı eğilme numunelerine ait tokluk sütun grafiği.

Düşük dayanımlı eğilme numunelerinin eğilme dayanımı-sehim karşılaştırma grafiği Şekil 5.40'da verilmiştir. Referans numuneye göre kabuk miktarı arttıkça eğilme dayanımının düştüğü, %3 ve %6 deniz kabuklu numunelerin benzer davranış sergilediği, en fazla sehimin %9 deniz kabuklu numunede olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5.40: Normal dayanımlı eğilme numunelerinin eğilme dayanımı-sehim karşılaştırma grafiği.

### 5.3. Yüksek Dayanımlı Beton Numunelere Ait Deneysel Sonuçlar

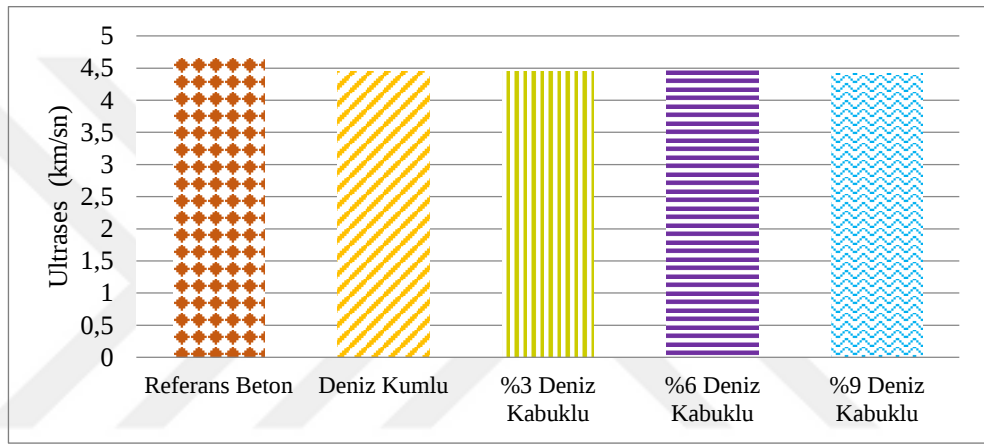
Yüksek dayanımlı olarak üretilmiş 15x15x15 cm boyutlarında 15 adet küp numuneye birim hacim ağırlık, ultrases, schmidt, tek eksenli basınç deneyleri; 10x10x25 cm boyutlarında 10 adet eğilme numunesine 3 noktalı eğilme deneyi yapıldı. Deney sonuçlarına ait tüm veriler Tablo 5.6'da verilmiştir.

Tablo 5.6: Yüksek dayanımlı beton numunelerin tahribatlı ve tahribatsız deneylerine ait deney sonuçları.

| Normal Dayanımlı Betonlar | Numune No | Birim Hacim Ağırlık Deneyi (kg/cm <sup>3</sup> ) | Ort. (kg/cm <sup>3</sup> ) | Ultrases Deneyi (km/sn) | Ort. (km/sn) | Schmidt Deneyi (MPa) | Ort. (MPa) | Basınç Deneyi (MPa) | Ort. (MPa) | Eğilme Deneyi (MPa) | Ort. (MPa) |
|---------------------------|-----------|--------------------------------------------------|----------------------------|-------------------------|--------------|----------------------|------------|---------------------|------------|---------------------|------------|
| Referans                  | 1         | 2364,44                                          | 2354,57                    | 4,69                    | 4,65         | 40                   | 38,00      | 56,19               | 55,32      | 6,47                | 6,04       |
|                           | 2         | 2352,59                                          |                            | 4,66                    |              | 39,5                 |            | 55,12               |            | 5,60                |            |
|                           | 3         | 2346,67                                          |                            | 4,60                    |              | 34,5                 |            | 54,65               |            | -                   |            |
| Deniz Kumlu               | 1         | 2322,96                                          | 2311,11                    | 4,57                    | 4,44         | 33                   | 30,83      | 43,51               | 43,23      | 5,80                | 5,45       |
|                           | 2         | 2311,11                                          |                            | 4,39                    |              | 31,5                 |            | 43,44               |            | 5,09                |            |
|                           | 3         | 2299,26                                          |                            | 4,37                    |              | 28                   |            | 42,73               |            | -                   |            |
| %3 Deniz Kabuklu          | 1         | 2317,04                                          | 2309,14                    | 4,48                    | 4,44         | 31,5                 | 30,50      | 43,11               | 41,48      | 5,97                | 5,51       |
|                           | 2         | 2305,19                                          |                            | 4,43                    |              | 30                   |            | 42,72               |            | 5,05                |            |
|                           | 3         | 2305,19                                          |                            | 4,42                    |              | 30                   |            | 38,59               |            | -                   |            |
| %6 Deniz Kabuklu          | 1         | 2358,52                                          | 2330,87                    | 4,36                    | 4,46         | 32                   | 32,00      | 49,79               | 49,37      | 5,51                | 5,22       |
|                           | 2         | 2317,04                                          |                            | 4,34                    |              | 29                   |            | 49,24               |            | 4,92                |            |
|                           | 3         | 2317,04                                          |                            | 4,68                    |              | 35                   |            | 49,1                |            | -                   |            |
| %9 Deniz Kabuklu          | 1         | 2293,91                                          | 2293,91                    | 4,49                    | 4,42         | 28,5                 | 28,83      | 45,83               | 44,65      | 5,48                | 5,25       |
|                           | 2         | 2293,91                                          |                            | 4,47                    |              | 28                   |            | 43,25               |            | 5,02                |            |
|                           | 3         | 2293,91                                          |                            | 4,30                    |              | 30                   |            | 44,87               |            | -                   |            |

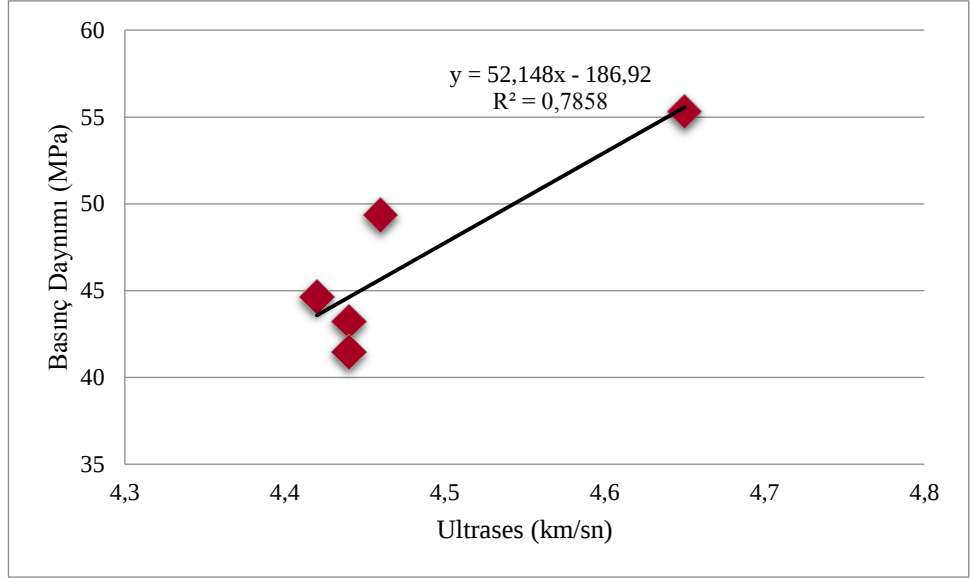
### 5.3.1. Ultrases deneyi sonuçları

Referans numunelerde ortalama 4,65 km/sn, deniz kumlu numunelerde ortalama 4,44 km/sn, %3 deniz kabuklu numunelerde ortalama 4,44 km/sn, %6 deniz kabuklu numunelerde ortalama 4,46 km/sn, %9 deniz kabuklu numunelerde ortalama 4,42 km/sn değerleri elde edilmiştir. Tablo 4.5'e (ses hızı-beton kalitesi ilişkisi) göre bu sonuçlar referans betonun kalitesinin mükemmel diğer betonların kalitesinin iyi olduğunu göstermektedir. Şekil 5.41'da numunelerden elde edilen ortalama ultrases sonuçlarına ait sütun grafiği verilmiştir.



Şekil 5.41: Yüksek dayanımlı numunelerin ortalama ultrases sonuçlarına ait sütun grafiği.

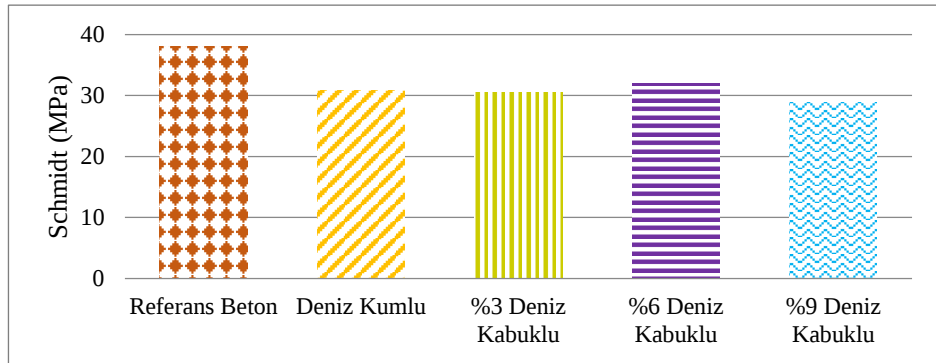
Basınç dayanımı-ultrases tahmini korelasyonunda  $R^2$  değeri 0,7858'dir. %78,58'lik bir değer elde edilmiştir. Şekil 5.42'de yüksek dayanımlı numunelerin basınç dayanımı-ultrases korelasyon grafiği verilmiştir. Bu korelasyon grafiğinde iyi bir uyum sağlanmıştır.



Şekil 5.42: Yüksek dayanımlı numunelerin basınç dayanımı-ultrases korelasyon grafiği.

### 5.3.2. Schmidt deneyi sonuçları

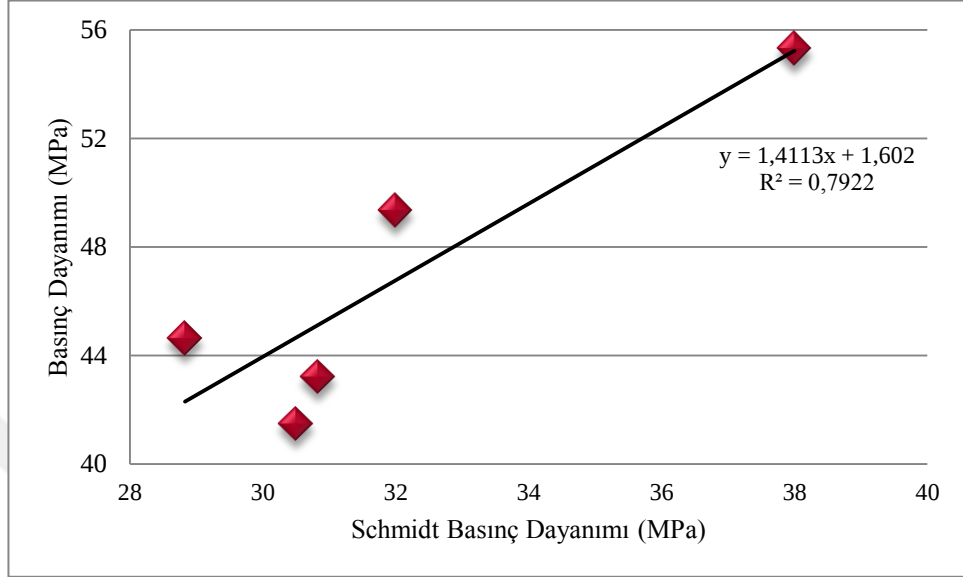
Referans numunelerde ortalama 38,00 MPa, deniz kumlu numunelerde ortalama 30,83 MPa, %3 deniz kabuklu numunelerde ortalama 30,50 MPa, %6 deniz kabuklu numunelerde ortalama 32,00 MPa, %9 deniz kabuklu numunelerde ortalama 28,83 MPa değerleri elde edilmiştir. Şekil 5.43'te numunelerden elde ortalama schmidt dayanımlarına ait sütun grafiği verilmiştir.



Şekil 5.43: Yüksek dayanımlı numunelerin ortalama schmidt sonuçlarına ait sütun grafiği.

En yüksek schmidt basınç değeri referans numunede gözlemlenmiştir. Referans numuneye göre deniz kumlu numunelerde %18.87, %3 deniz kabuklu numunelerde %19.74, %6 deniz kabuklu numunelerde %15.79, %9 deniz kabuklu numunelerde %24.14 düşüş gözlemlenmiştir.

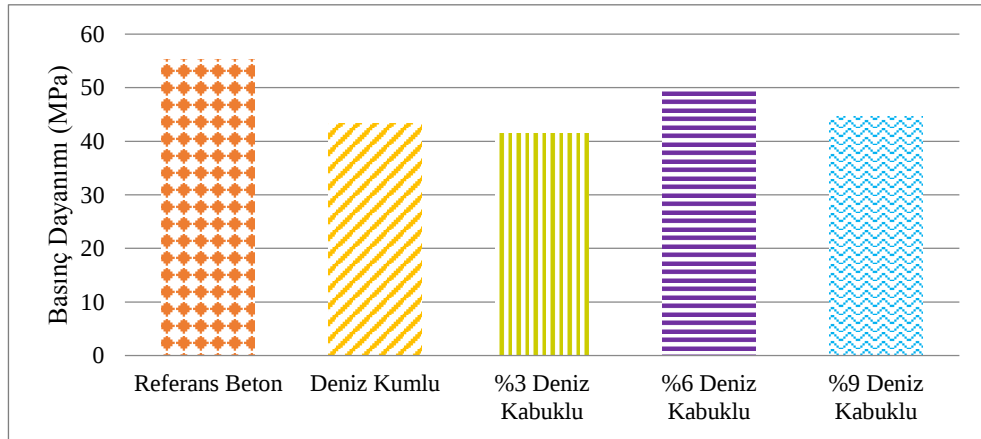
Basınç dayanımı-schmidt dayanımı tahmini korelasyonunda  $R^2$  değeri 0,7922'dir. %79,22'lik bir değer elde edilmiştir. Şekil 5.44'te basınç dayanımı-schmidt korelasyon grafiği verilmiştir. Bu korelasyon grafiğinde iyi bir uyum sağlanmıştır.



Şekil 5.44: Yüksek dayanımlı numunelerin basınç dayanımı-schmidt korelasyon grafiği.

### 5.3.3. Basınç deneyi sonuçları

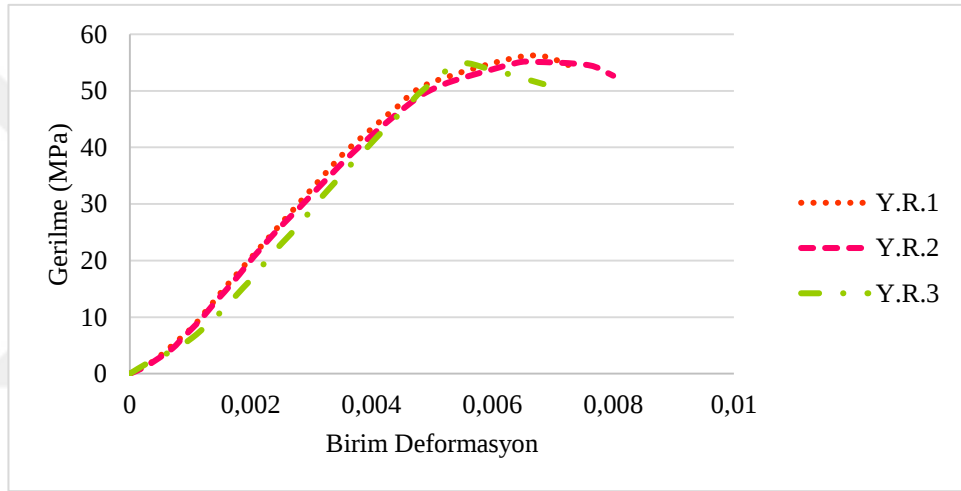
Referans numunelerde ortalama 55,32 MPa, deniz kumlu numunelerde ortalama 43,23 MPa, %3 deniz kabuklu numunelerde ortalama 41,48 MPa, %6 deniz kabuklu numunelerde ortalama 49,37 MPa, %9 deniz kabuklu numunelerde ortalama 44,65 MPa basınç dayanımı değeri elde edilmiştir. Şekil 5.45'te numunelerden elde ortalama basınç dayanımlarına ait sütun grafiği verilmiştir.



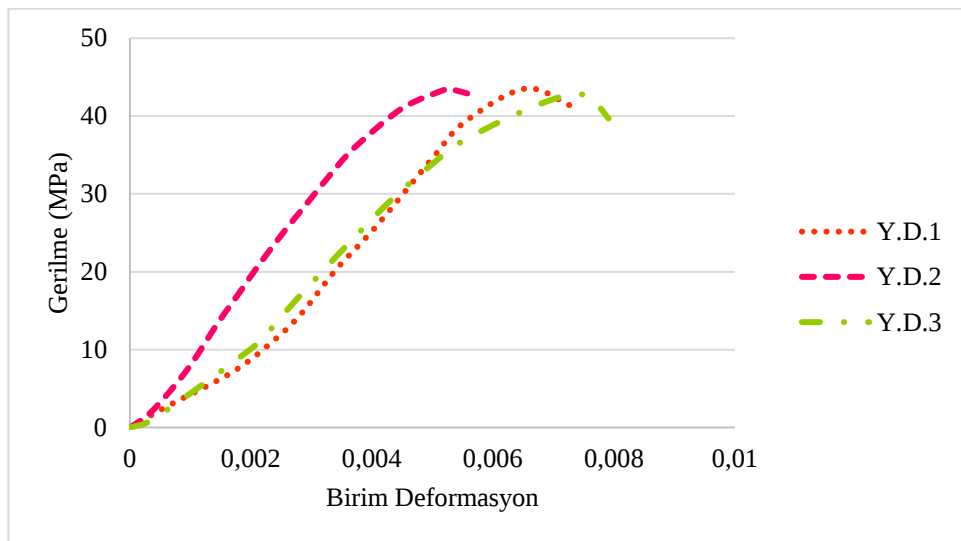
Şekil 5.45: Yüksek dayanımlı numunelere ait ortalama basınç dayanımı sütun grafiği.

En yüksek basınç değeri referans numunede elde edilmiştir. Referans numuneye göre deniz kumlu numunelerde %21.85, %3 deniz kabuklu numunelerde %25.02, %6 deniz kabuklu numunelerde %10.76, %9 deniz kabuklu numunelerde %19.29 düşüş tespit edilmiştir.

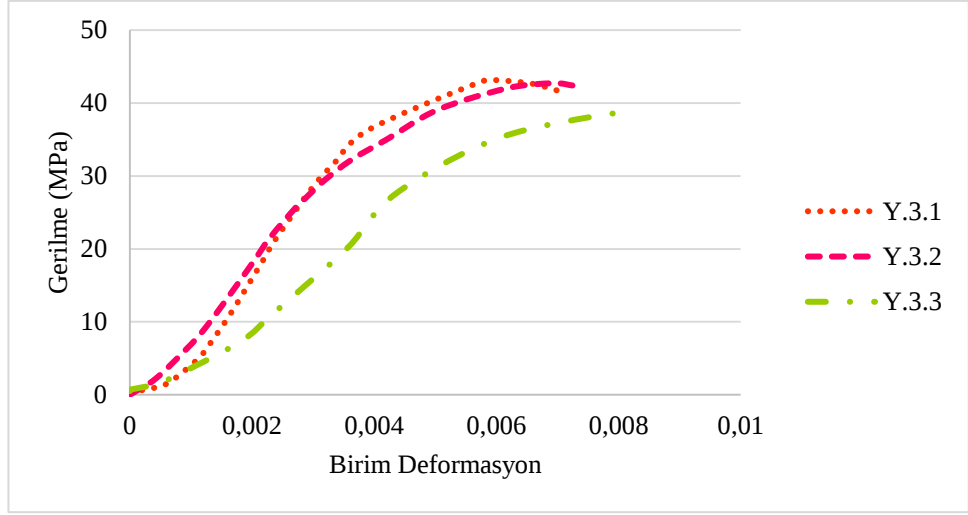
Yüksek dayanımlı betonlarda; referans, deniz kumlu, %3 deniz kabuklu, %6 deniz kabuklu, %9 deniz kabuklu numunelere ait gerilme-birim deformasyon grafikleri sırasıyla Şekil 5.46, Şekil 5.47, Şekil 5.48, Şekil 5.49, Şekil 5.50’de verilmiştir. Şekil 5.51’de yüksek dayanımlı numunelerin ortalama gerilme-birim deformasyon grafiği verilmiştir. Farklı içerikteki betonlar, her grubu temsil eden eğri grafiği ile karşılaştırılmıştır.



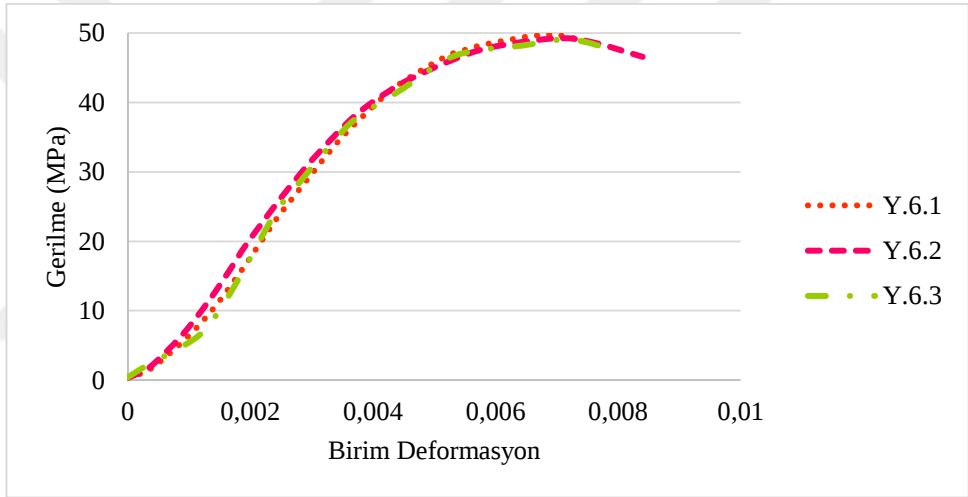
Şekil 5.46: Yüksek dayanımlı referans numunelere ait gerilme-birim deformasyon grafiği.



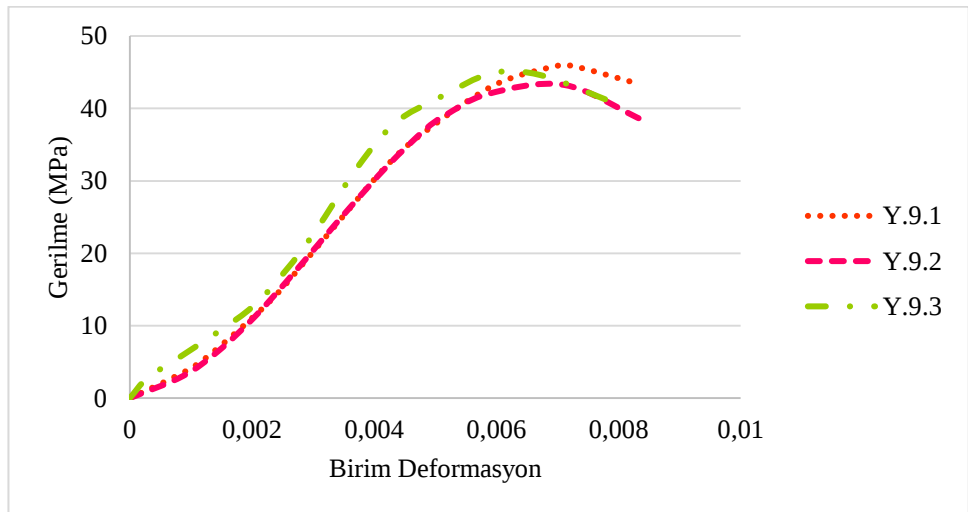
Şekil 5.47: Yüksek dayanımlı deniz kumlu numunelere ait gerilme-birim deformasyon grafiği.



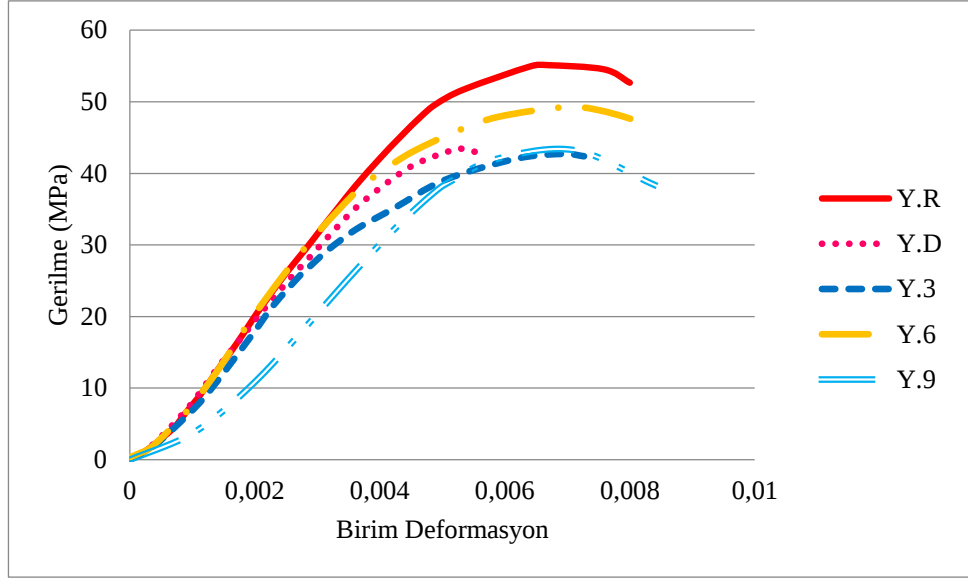
Şekil 5.48: Yüksek dayanımlı %3 deniz kabuklu numunelere ait gerilme-birim deformasyon grafiği.



Şekil 5.49: Yüksek dayanımlı %6 deniz kabuklu numunelere ait gerilme-birim deformasyon grafiği.



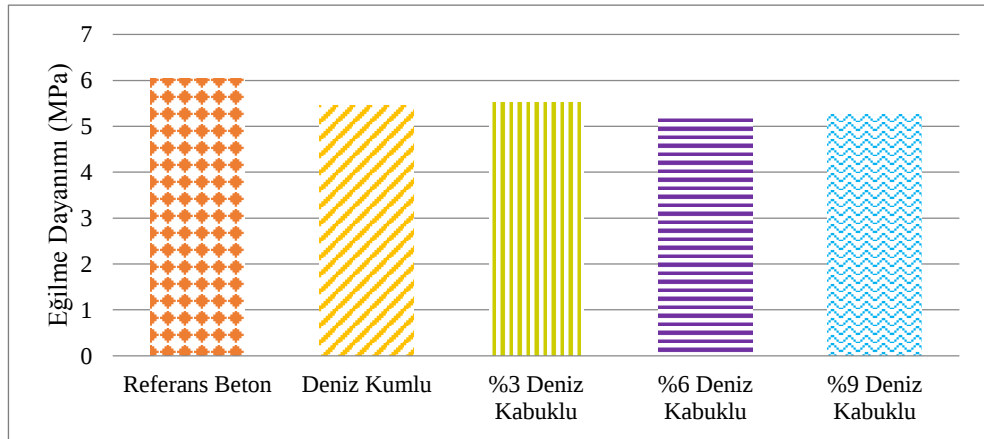
Şekil 5.50: Yüksek dayanımlı %9 deniz kabuklu numunelere ait gerilme-birim deformasyon grafiği.



Şekil 5.51: Yüksek dayanımlı betonlara ait ortalama gerilme-birim deformasyon grafiği.

#### 5.3.4. Eğilme deneyi

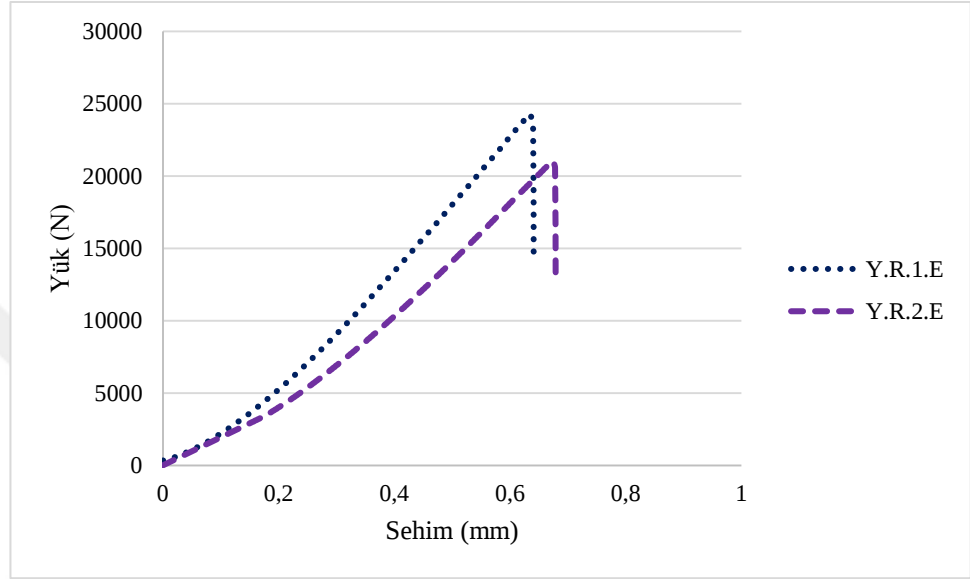
Referans numunelerde ortalama 6,04 MPa, deniz kumlu numunelerde ortalama 5,45 MPa, %3 deniz kabuklu numunelerde ortalama 5,51 MPa, %6 deniz kabuklu numunelerde ortalama 5,22 MPa, %9 deniz kabuklu numunelerde ortalama 5,25 MPa eğilme dayanımı değeri elde edilmiştir. Şekil 5.52’de numunelerden elde ortalama eğilme dayanımlarına ait sütun grafiği verilmiştir.



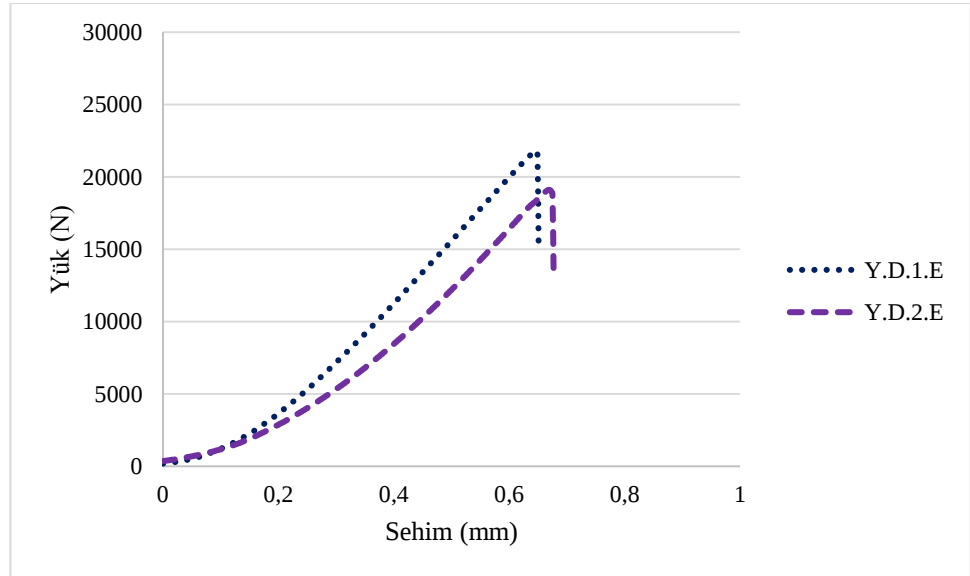
Şekil 5.52: Yüksek dayanımlı numunelerin ortalama eğilme dayanımı sonuçlarına ait sütun grafiği.

Yüksek dayanımlı betonlarda; referans, deniz kumlu, %3 deniz kabuklu, %6 deniz kabuklu, %9 deniz kabuklu numunelere ait yük-sehim grafikleri sırasıyla Şekil 5.53, Şekil 5.54, Şekil 5.55, Şekil 5.56, Şekil 5.57’de verilmiştir.

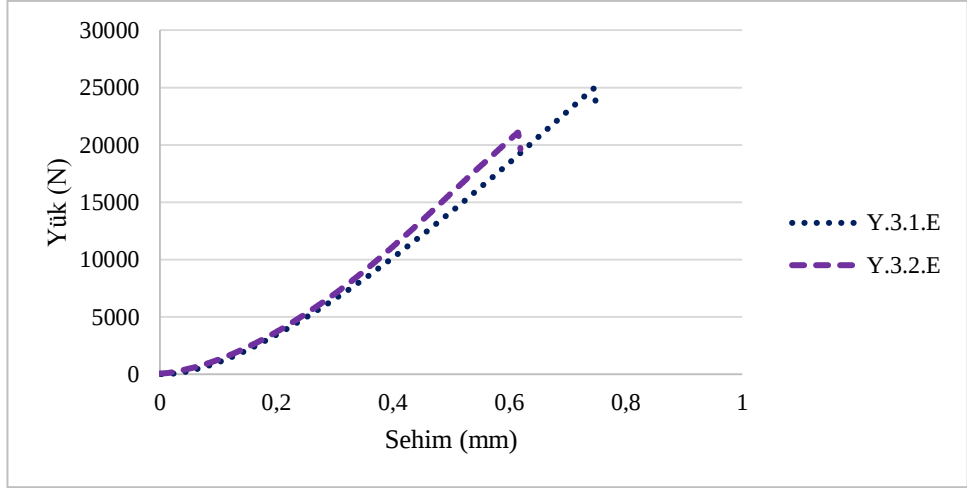
En yüksek eğilme dayanımı değeri referans numunelerde elde edilirken genel olarak kabuk miktarı arttıkça eğilme dayanımının düştüğü gözlemlenmiştir. Referans numuneye göre deniz kumlu numunelerde %9.77, %3 deniz kabuklu numunelerde %8.77, %6 deniz kabuklu numunelerde %13.58, %9 deniz kabuklu numunelerde %13.08 düşüş gözlemlenmiştir.



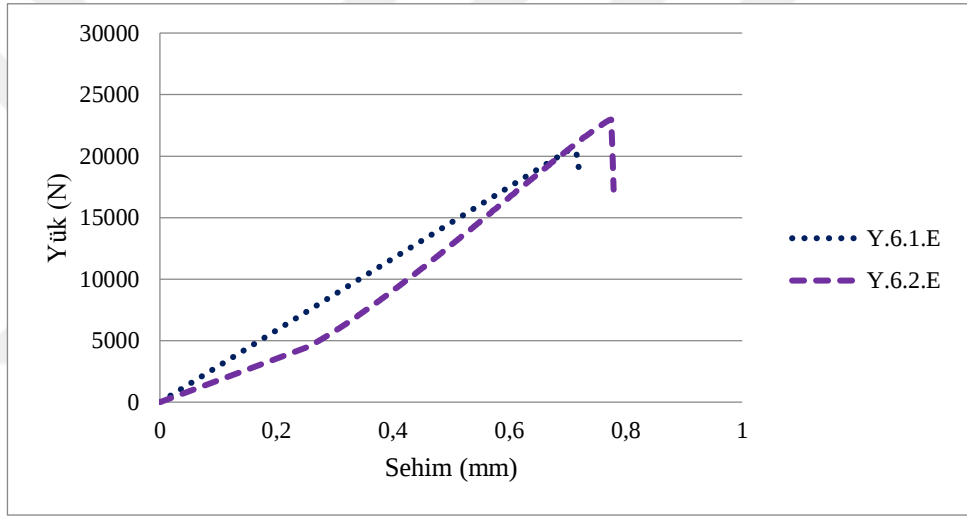
Şekil 5.53: Yüksek dayanımlı referans numunelere ait yük-sehim grafiği.



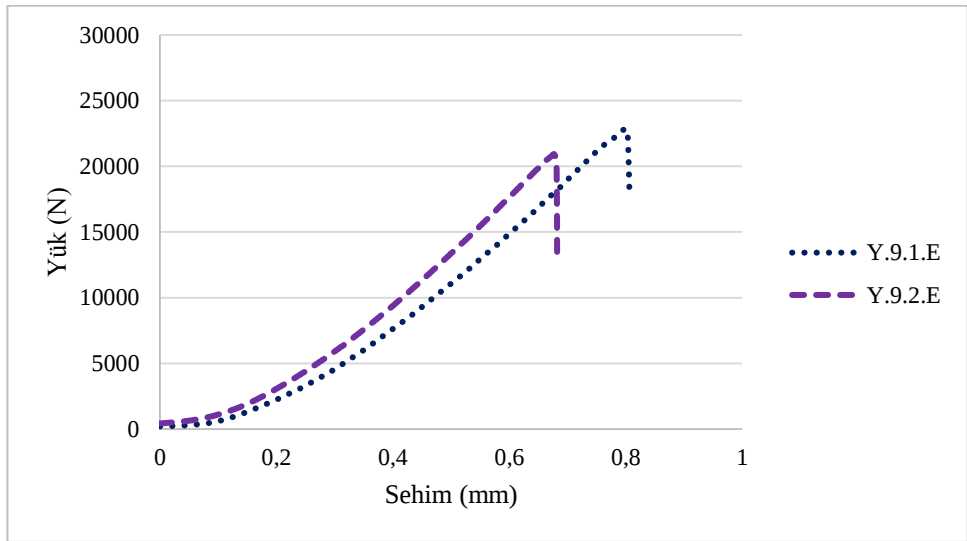
Şekil 5.54: Yüksek dayanımlı deniz kumlu numunelere ait yük-sehim grafiği.



Şekil 5.55: Yüksek dayanımlı %3 deniz kabuklu numunelere ait yük-sehim grafiği.

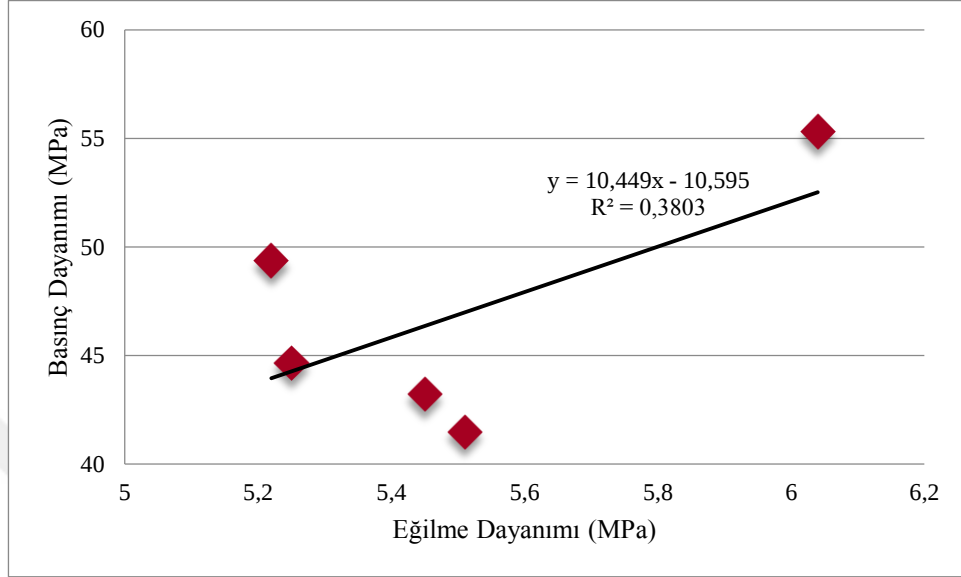


Şekil 5.56: Yüksek dayanımlı %6 deniz kabuklu numunelere ait yük-sehim grafiği.



Şekil 5.57: Yüksek dayanımlı %9 deniz kabuklu numunelere ait yük-sehim grafiği.

Basınç dayanımı-eğilme dayanımı tahmini korelasyonunda  $R^2$  değeri 0,3803'dir. %38,03'lik bir değer elde edilmiştir. Şekil 5.58'de verilmiştir. Bu korelasyon grafiğinde çok düşük bir uyum sağlanmıştır.



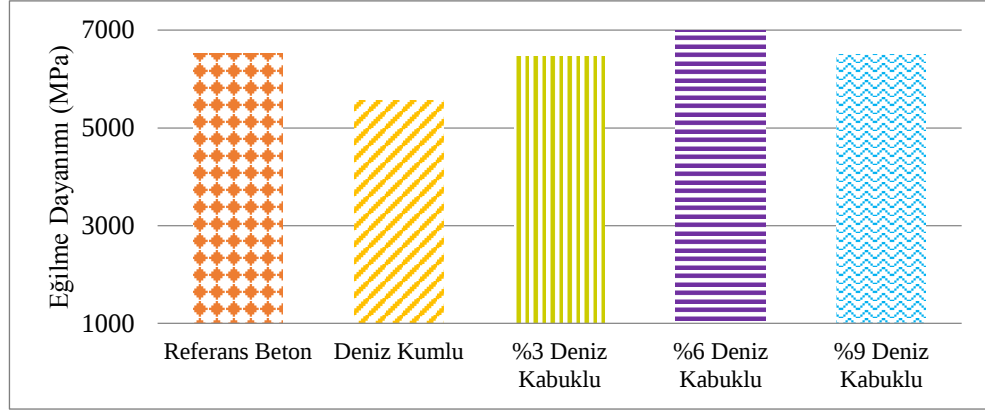
Şekil 5.58: Yüksek dayanımlı numunelere ait basınç dayanımı-eğilme dayanımı korelasyon grafiği.

En yüksek tokluk, referans betonda gözlemlenmiştir. %3, %6 ve %9 deniz kabuklu numunelerin tokluk değeri deniz kumlu numunelerden yüksek çıkmıştır. Sonuçlar Tablo 5.7'de verilmiştir. Düşük dayanımlı eğilme numunelerine ait ortalama tokluk değerleri Şekil 5.59'da sütun grafiği olarak verilmiştir.

Tablo 5.7: Yüksek dayanımlı eğilme numuneleri tokluk hesaplamaları.

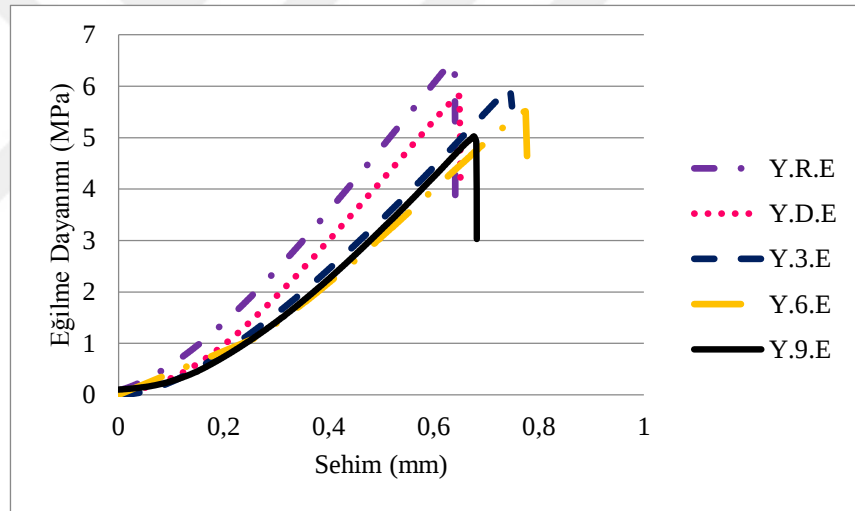
| Num. No. | Y.R.E   | Y.D.E   | Y.3.E   | Y.6.E   | Y.9.E   |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1.       | 6872,93 | 5925,47 | 7668,84 | 7532,68 | 7253,05 |
|          | N.mm    | N.mm    | N.mm    | N.mm    | N.mm    |
| 2.       | 6160,60 | 5186,92 | 5273,75 | 7677,27 | 5740,77 |
|          | N.mm    | N.mm    | N.mm    | N.mm    | N.mm    |
| Ortalama | 6516,77 | 5556,20 | 6471,30 | 7604,98 | 6496,91 |
|          | N.mm    | N.mm    | N.mm    | N.mm    | N.mm    |

En yüksek ortalama tokluk değeri referans numunelerde, en düşük tokluk değeri ise deniz kumlu numunelerde elde edilmiştir. Referans numuneye göre deniz kumlu numunelerde %14.74, %3 deniz kabuklu numunelerde %0,70, %6 deniz kabuklu numunelerde %2.66, %9 deniz kabuklu numunelerde %0,30 tokluk kaybı tespit edilmiştir.



Şekil 5.59: Yüksek dayanımlı eğilme numunelerine ait tokluk sütun grafiği.

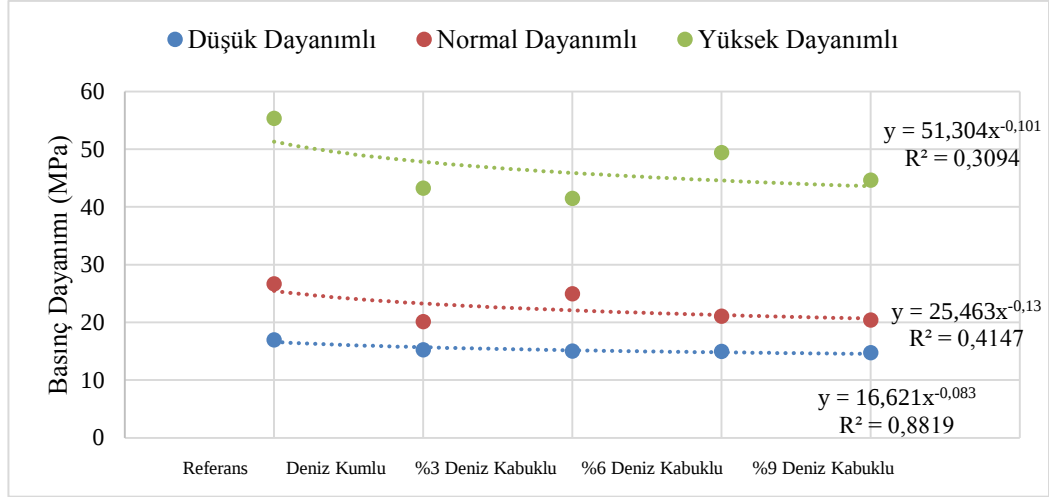
Yüksek dayanımlı eğilme numunelerinin eğilme dayanımı-sehim karşılaştırma grafiği Şekil 5.60'da verilmiştir. Kabuk miktarı arttıkça dayanımın azaldığı sehim miktarının arttığı tespit edilmiştir.



Şekil 5.60: Yüksek dayanımlı eğilme numunelerinin eğilme dayanımı-sehim karşılaştırma grafiği.

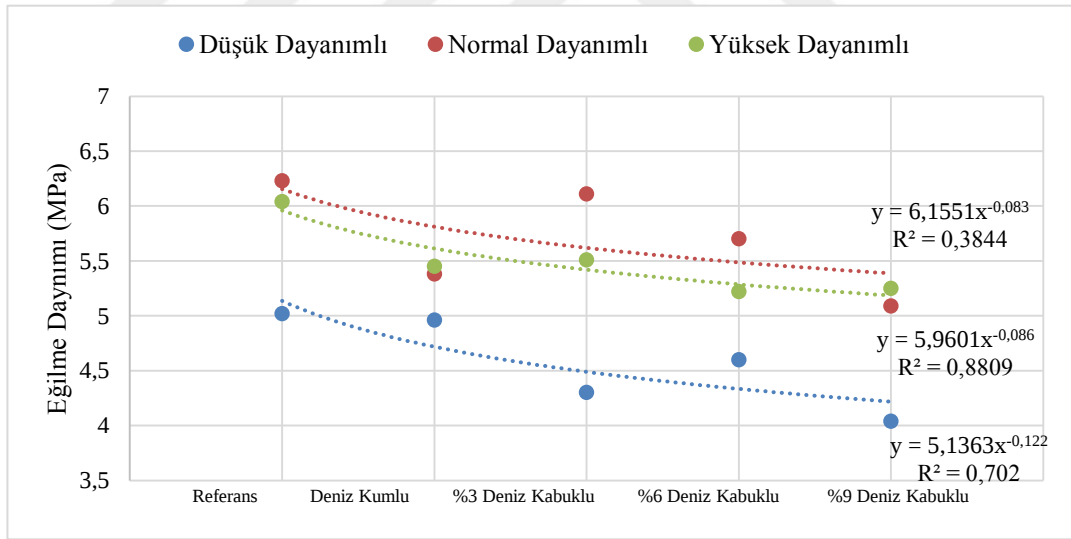
#### 5.4. Farklı Dayanım Sınıflarına Ait Betonların Deneysel Sonuçlarının Karşılaştırılması

Dayanım sınıflarının içerdiği kabuk miktarına bağlı basınç dayanımındaki düşüşleri gösteren grafik Şekil 5.61'de verilmiştir. Elde edilen denklemlere göre  $R^2$  değerlerinde en yüksek sonuç düşük dayanımlı numunelerde tespit edilmiştir.



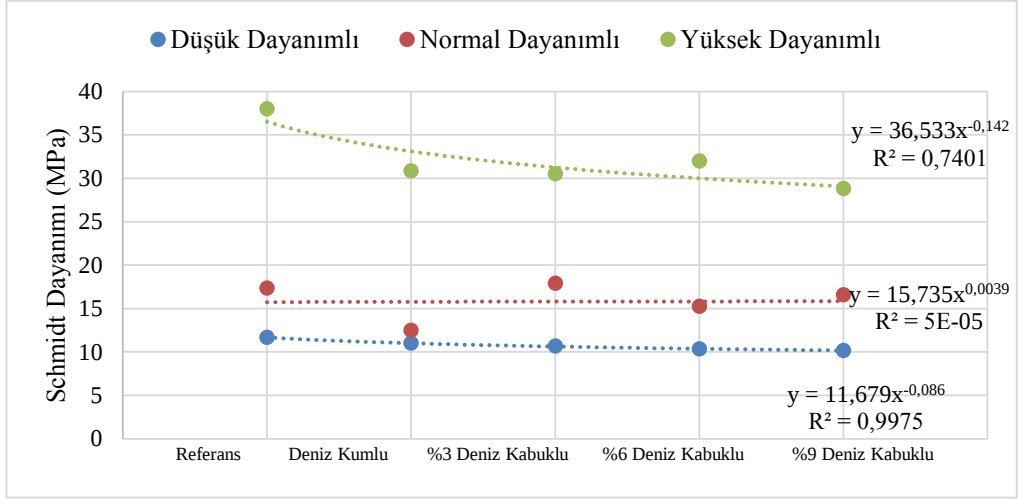
Şekil 5.61: Farklı dayanım sınıflarına ait betonların basınç dayanımı karşılaştırma grafiği.

Dayanım sınıflarının içerdiği kabuk miktarına bağlı eğilme dayanımındaki düşüşleri gösteren grafik Şekil 5.62’de verilmiştir. Elde edilen denklemlere göre yüksek dayanımlarda  $R^2=0,8857$ , düşük dayanımlılarda  $R^2=0,7043$ , normal dayanımlılarda ise  $R^2=0,3881$  çıkmıştır.



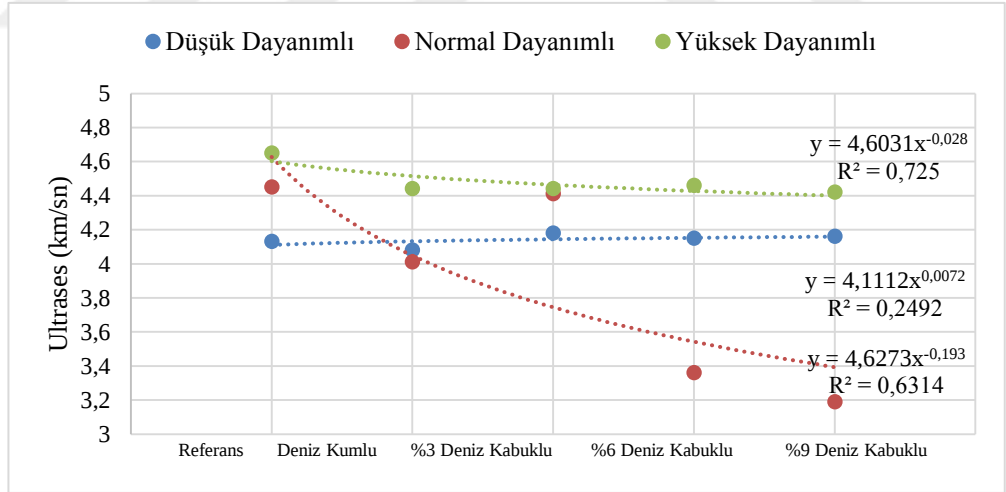
Şekil 5.62: Farklı dayanım sınıflarına ait betonların eğilme dayanımı karşılaştırma grafiği.

Dayanım sınıflarının içerdiği kabuk miktarına bağlı schmidt dayanımındaki düşüşleri gösteren grafik Şekil 5.63’te verilmiştir. Elde edilen  $R^2$  değerlerine göre basınç dayanımındaki değişmeler için en güvenilir sonuçlar %99,75 oranında düşük dayanımlı numunelerde tespit edilmiştir.



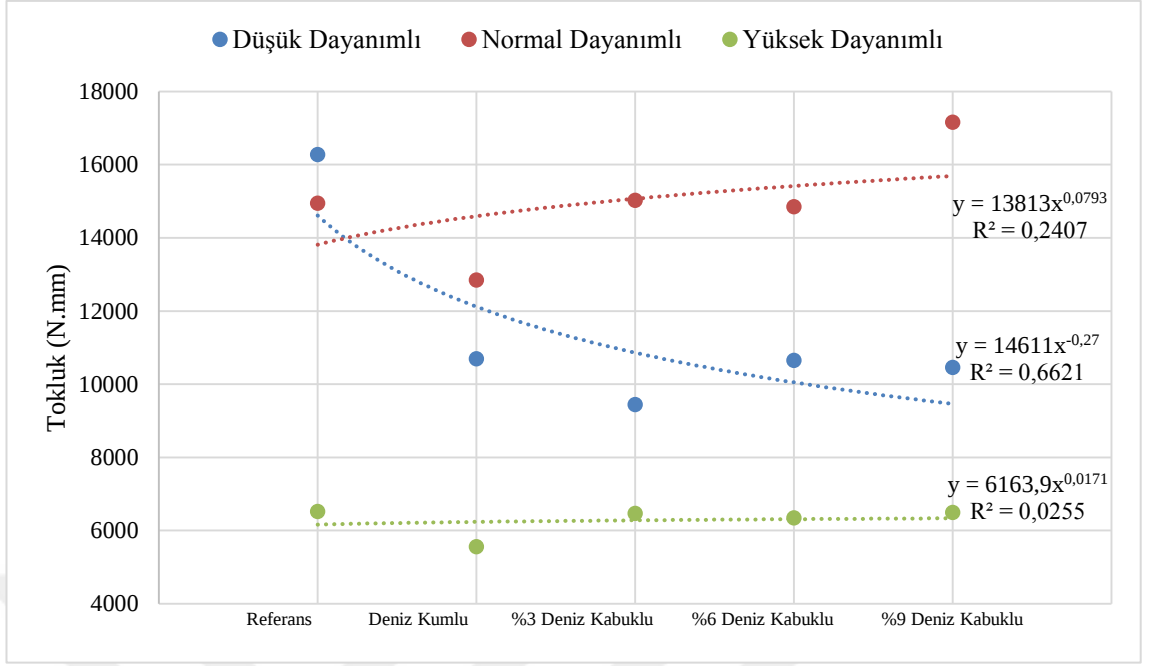
Şekil 5.63: Farklı dayanım sınıflarına ait betonların schmidt dayanımı karşılaştırma grafiği.

Dayanım sınıflarının içerdiği kabuk miktarına bağlı ultrases deneyindeki düşüşleri gösteren grafik Şekil 5.64'te verilmiştir. Elde edilen  $R^2$  değerlerine göre değişimler için en güvenilir sonuçlar yüksek dayanımlı numunelerde tespit edilirken; basınç eğilme, schmidt, deneylerindeki sonuçların  $R^2$  değeri en az sonuçlar düşük dayanımlı numunelerde tespit edilmiştir.



Şekil 5.64: Farklı dayanım sınıflarına ait betonların ultrases sonuçları karşılaştırma grafiği.

Dayanım sınıflarının içerdiği kabuk miktarına bağlı tokluk hesaplamalarındaki düşüşleri gösteren grafik Şekil 5.65'te verilmiştir. Elde edilen denklemlere göre  $R^2$  değerleri düşük, normal ve yüksek dayanımlı olmak üzere sırasıyla 0.736, 0.271, 0.247 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 5.65: Farklı dayanım sınıflarına ait betonların tokluk değeri karşılaştırma grafiği.

## BÖLÜM 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu araştırma kapsamında yapılan deneysel çalışmaların sonuçları aşağıdaki şekilde özetlenmiştir.

Kartal ilçesindeki kentsel dönüşüm amaçlı yıkılan binalardan alınan örneklerde deniz kabukları görülmüş, bu yapıların deniz kumundan inşaa edildiği belirlenmiştir. 5 farklı binaya ait numunelerde, kabuk oranına bağlı olmaksızın farklı dayanım sonuçları elde edilmiş, 4 binanın basınç dayanımı 20 MPa'nın altında olduğu tespit edilmiştir.

Beton birim hacim deneyleri sonucunda her 3 beton grubunda da benzer değerler elde edilmiştir.

Yapılan elek analizi deneyinde, deniz kumu kırma kumdan daha ince çıkmıştır.

Düşük dayanımlı betonlarda, ses hızı-beton kalitesi değerlendirme tablosuna göre (Tablo 4.5) bu gruptaki betonların kalitesinin iyi olduğunu belirlenmiştir. Ancak tek eksenli basınç dayanımında çıkan sonuçlar 20 MPa'nın altındadır ve bu grup düşük dayanımlıdır, ultrases deneyinden elde edilen beton kalitesi sonuçları ile basınç dayanımı sonuçları birbiri ile çelişmektedir. Basınç dayanımı-ultrases korelasyonunda %9'luk bir oranlarla neredeyse hiç uyum sağlanamamıştır.

Düşük dayanımlı betonlarda; schmidt dayanımı sonuçları ile basınç dayanımı sonuçları betonların düşük kalitede olduğu konusunda uyuşmaktadır. Basınç dayanımı sonuçları, schmidt dayanımı sonuçlarından yüksek çıkmıştır. Ancak bu korelasyonda yüksek bir uyum sağlanmıştır. En yüksek schmidt dayanımı referans numunede elde edilirken, kabuk yüzdesi artıkça dayanımın düştüğü gözlemlenmiştir. Referans numuneye göre deniz kumlu numunelerde %5,67, %3 deniz kabuklu numunelerde %8,57 düşüş, %6 deniz kabuklu numunelerde %11,48, %9 deniz kabuklu numunelerde %12,85 düşüş gözlemlenmiştir.

Düşük dayanımlı betonlarda en yüksek basınç dayanımı değeri referans numunede elde edilirken, kabuk yüzdesi artıkça dayanımın düştüğü schmidt deneyinde olduğu gibi tek eksenli basınç dayanımı deneyinde de gözlemlenmiştir. Referans numuneye göre deniz kumlu numunelerde %9.86, %3 deniz kabuklu numunelerde %11.46, %6 deniz kabuklu numunelerde %11.69, %9 deniz kabuklu numunelerde %13.05 düşüş gözlemlenmiştir.

Düşük dayanımlı betonlarda eğilme deneyinde, referans numuneye göre deniz kumlu numunelerde %1.20 düşüş, %3 deniz kabuklu numunelerde %14.34 düşüş, %6 deniz kabuklu numunelerde %8.7 düşüş, %9 deniz kabuklu numunelerde %19.52 düşüş gözlemlenmiştir. Basınç dayanımı ve schmidt dayanımı deneylerindeki kabuk miktarına bağlı dayanım düşüşün aksine eğilme deneyinde kabuk miktarından bağımsız sonuçlar elde edilmiştir. Basınç dayanımı-eğilme dayanımı tahmini korelasyonuna göre düşük bir uyum sağlanmıştır.

En yüksek enerji sönümleme kapasitesi, referans betonlarda gözlemlenmiştir. Deniz kumlu ve deniz kabuklu numunelerin enerji tutma kapasitelerinin daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Normal dayanımlı betonlarda ses hızı-beton kalitesi değerlendirme tablosuna göre referans, deniz kumlu, %3 deniz kabuklu beton numunelere ait sonuçlar, betonların iyi kalitede olduğunu; %6 ve %9 deniz kabuklu beton numunelere ait sonuçlar ise bu betonların şüpheli kalitede göstermektedir. Ancak %6 ve %9 deniz kabuklu betonların basınç dayanımları 20 MPa'nın üstündedir ve normal dayanımlı beton grubu için yapılan ultrases ve basınç dayanımı deneyleri birbiri ile çelişmektedir.

Normal dayanımlı betonlarda schmidt deneyinde şu sonuçlar elde edilmiştir: En yüksek schmidt basınç değeri %3 deniz kabuklu numunelerde elde edilmiştir. Referans numuneye göre; en yüksek dayanım kaybı deniz kumlu numunede görülürken, %3 deniz kabuklu numunede dayanım artışı gözlemlenmiştir. Referans numuneye göre deniz kumlu numunelerde %27.95, %3 deniz kabuklu numunelerde %-3.29, %6 deniz kabuklu numunelerde %12.10, %9 deniz kabuklu numunelerde %4.44 düşüş gözlemlenmiştir. Basınç dayanımı sonuçları 20 MPa'nın üstünde çıkıp normal dayanımlı sayılırken; schmidt dayanımı değerlerine göre bu betonlar 20 MPa'nın altında ve düşük dayanımlıdır. Basınç dayanımı-schmidt dayanımı tahmini korelasyonunun da düşük çıkması bu uyumsuzluğu desteklemektedir.

Normal dayanımlı betonların tek eksenli basınç dayanımı deneylerine göre en yüksek basınç dayanımı referans betonda tespit edilmiştir. Referans betonlara göre kabuklu betonlarda kabuk miktarı artıkça dayanımın düştüğü belirlenmiştir. Ancak en düşük basınç dayanımı deniz kumlu numunelerde edilmiştir. Referans numuneye göre deniz kumlu numunelerde %24.57, %3 deniz kabuklu numunelerde %6.49, %6 deniz kabuklu numunelerde %20.97, %9 deniz kabuklu numunelerde %23.41 düşüş gözlemlenmiştir.

Normal dayanımlı betonlarda eğilme deneyinde basınç deneyinde olduğu gibi referans betonlara göre kabuklu betonlarda kabuk miktarı artıkça dayanımın düştüğü belirlenmiştir. Referans numuneye göre deniz kumlu numunelerde %13.64, %3 deniz kabuklu numunelerde %1.93, %6 deniz kabuklu numunelerde %8.51, %9 deniz kabuklu numunelerde %18,30 düşüş gözlemlenmiştir. Basınç dayanımı-eğilme dayanımı tahmini korelasyonunda yüksek bir uyum sağlanmıştır.

Eğilme numunelerinde en yüksek enerji sönümleyebilme kapasitesi %9 deniz kabuklu betonda gözlemlenmiştir.

Yüksek dayanımlı betonlarda ses hızı-beton kalitesi değerlendirme tablosuna göre bütün betonlar mükemmel kalitede çıkmıştır. Referans beton hariç diğer 4 grup 40-50 MPa'nın arasındadır. Elde edilen ultrases sonuçları, basınç dayanımları ile örtüşen sonuçlar vermiştir.

Yüksek dayanımlı betonlarda schmidt deneyine göre en yüksek schmidt basınç değeri referans numunede gözlemlenmiştir. Referans numuneye göre deniz kumlu numunelerde %18.87, %3 deniz kabuklu numunelerde %19.74, %6 deniz kabuklu numunelerde %15.79, %9 deniz kabuklu numunelerde %24.14 düşüş gözlemlenmiştir. Tek eksenli basınç dayanımı değerleri, schmidt dayanımı değerlerine göre daha yüksek çıkmıştır. Basınç dayanımı-schmidt dayanımı tahmini korelasyonunda %79,22'lik iyi bir uyum sağlanmıştır.

Yüksek dayanımlı betonlarda basınç deneyinde göre en yüksek basınç dayanımı 55,32 MPa bir değer ile referans numunelerde çıkmıştır. Referans numuneye göre deniz kumlu numunelerde %21.85, %3 deniz kabuklu numunelerde %25.02, %6 deniz kabuklu numunelerde %10.76, %9 deniz kabuklu numunelerde %19.29 düşüş gözlemlenmiştir.

Yüksek dayanımlı betonlarda eğilme deneyine göre en yüksek eğilme dayanımı değeri referans numunelerde elde edilirken genel olarak kabuk miktarı arttıkça eğilme

dayanımının düştüğü gözlemlenmiştir. Referans numuneye göre deniz kumlu numunelerde %9.77, %3 deniz kabuklu numunelerde %8.77, %6 deniz kabuklu numunelerde %13.58, %9 deniz kabuklu numunelerde %13.08 düşüş gözlemlenmiştir. Basınç dayanımı-eğilme dayanımı tahmini korelasyonunda  $R^2$  değeri 0,5053'dir. %50,53'lik bir değer elde edilmiştir. Bu korelasyonda düşük bir uyum sağlanmıştır.

Düşük ve normal dayanım sınıfı için ultrases deneyinden elde edilen beton kalitesi sonuçlarının basınç dayanımları ile çelişmesi tahribatsız bir yöntem olan ultrases deneyinin güvenilirliği hakkında şüphe oluşturmıştır. Bu şüpheyi hem düşük hem normal dayanımlı betonların, basınç dayanımı-ultrases korelasyon grafiklerinde düşük uyumların elde edilmesi desteklemektedir.

Tahribatsız deney yöntemlerinde schmidt deney yöntemi, ultrases deney yöntemine göre daha güvenilir sonuçlar vermiştir.

Kırılan numunelerde deniz kabuklarının çimento hamuru ile aderansının zayıf olduğu görülmüştür.

Tüm sonuçlar incelendiğinde kısa vadede dahi deniz kumunun dayanımı ciddi oranda düşürdüğü elenmeden deniz kabukları ile kullanılması halinde dayanımlarda kayıpların arttığı tespit edilmiştir.

1999 Marmara depremi öncesi yapılmış binaların, gerek yönetmelik eksikliği gerek denetim eksiliği gerekse deprem bilinçsizliği gibi çeşitli ihmaller ile yapı güvenliğinden söz edilemeyecek şekilde inşaa edildiği düşünülmektedir.. Bu araştırma kapsamında eski binaların dayanımlarını etkileyen deniz kumu-deniz kabuğu faktörü incelenmiştir. Ancak nervürsüz donatı kullanımı, kür koşullarının ihmal edilmesi, yüksek su/çimento oranları, deniz kumundan gelen zararlı maddelere ilaveten çimento torbalarının dahi beton karışımlarına atılması gibi birçok faktör eski yapıların güvenilirliği konusunda şaibe uyandırmaktadır. Bu konuların araştırılması tavsiye edilmektedir.

Deniz kumundaki tuz içeriğinin ve kabukların minerolojisinin çimento ile reaksiyonu sonucu yahut donatı ile reaksiyonu sonucu uzun vadede de dayanımı ne kadar etkileyebileceği araştırılması gereken bir husustur.

## KAYNAKLAR

- [1] <https://www.afad.gov.tr/deprem-nedir> (25.08.2019)
- [2] AFAD, 2008, Türkiye Deprem Tehlike Haritası
- [3] [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/03/Map\\_of\\_earthquakes\\_in\\_Turkey\\_1900-2017.svg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/03/Map_of_earthquakes_in_Turkey_1900-2017.svg) (14.07.2021)
- [4] <https://deprem.afad.gov.tr/tarihteBuAy?id=51> (13.05.2021)
- [5] <https://deprem.afad.gov.tr/tarihteBuAy?id=37> (13.05.2021)
- [6] <http://www.duzce.gov.tr/12-kasim-duzce-depremi> (14.05.2021)
- [7] [https://tr.wikipedia.org/wiki/2020\\_Ege\\_Denizi\\_depremi](https://tr.wikipedia.org/wiki/2020_Ege_Denizi_depremi) (25.08.2021)
- [8] <https://www.cumhuriyet.com.tr/galeri/17-agustos-acisini-akillara-kaziyan-fotograflar-347221/12> (16 Ağustos 2016)
- [9] <https://deprem.afad.gov.tr/galeri/246572> (13.05.2021)
- [10] <https://www.yeniasir.com.tr/galeri/yasam/izmirde-enkaz-altindakiler-icin-seferber-olundu> (30 Ekim 2020)
- [11] M. Sarıbıyık, M. Sümer, S. Fırat, F. Aydın, Investigation of Concrete Quality of Collapsed-Heavily Damaged Structures During The Marmara Earthquake, 8th International Conference on Inspection, Appraisal, Repairs & Maintenance of Buildings and Structures, 18 -20 December 2003, Singapore.
- [12] İsmail H. Çağatay, Experimental evaluation of buildings damaged in recent earthquakes in Turkey, Engineering Failure Analysis, Volume 12, Issue 3, 2005.
- [13] <https://www.ensonhaber.com/ic-haber/gungorende-bosaltılan-binanın-betonunda-deniz-kumu-bulundu> (29 Temmuz 2021)
- [14] <https://www.aa.com.tr/tr/turkiye/kartalda-coken-binadaki-ihmaller-bilirkisi-raporunda-/1394573> (16 Şubat 2019)
- [15] T. Erdoğan, Beton, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş Yayımları, 6.basım, 2016.

- [16] M. Selçuk Güner, Malzeme Bilimi-Yapı Malzemesi ve Beton Teknolojisi, Aktif Yayınevi, 1.Baskı Ağustos-1999
- [17] TS EN 197-1, Çimento- Bölüm 1: Genel çimentolar- Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri.
- [18] <https://docplayer.biz.tr/50709289-3-agregalar-agregalarin-siniflandirilmesi.html>
- [19] Osman Şimşek, Yapı Malzemesi II, Seçkin Yayıncılık, 2019
- [20] [http://www.as-beton.com/pdf/beton\\_teknik\\_terimleri.pdf](http://www.as-beton.com/pdf/beton_teknik_terimleri.pdf) (20.06.2021)
- [21] <https://static.ohu.edu.tr/uniweb/media/portallar/insaatmuhendisligi/duyurular/11729/bv0vcup.pdf> (20.06.2021)
- [22] <http://www.nehirbeton.com.tr/tr/agrega.html#:~:text=TS%20706%2C%20iri%20agrega%20olarak,dona%20dayan%C4%B1kl%C4%B1%20oldu%C4%9Funu%20kabul%20etmektedir.> (20.06.2021)
- [23] <https://cdn3.beun.edu.tr/insaat/297a396322b1bf9bc53575e6ee2cf870/ins214-yapi-malzemeleri-bolum-3.pdf> (20.06.2021)
- [24] <https://tur.sika.com/tr/yapi/beton-ve-cimento-teknolojileri/beton-katkilari.html> (31.08.2021)
- [25] <https://www.betonvecimento.com/wp-content/uploads/2014/12/Terim.pdf> (16.12.2014)
- [26] ÇİMSA, Çimento Araştırma ve Uygulama Merkezi, Çimento Kalite Kontrol Parametreleri ve Beton Üzerindeki Etkileri.
- [27] <https://www.betonvecimento.com/cimento/cimento-2> (22.10.2015)
- [28] <https://www.betonvecimento.com/cimento/cimento> (16.12.2014)
- [29] Selami İstanbüllüoğlu, Betonun Basınç Dayanımını Etkileyen Faktörler ve Ramble Betonunun Seçimi ile İlgili Bir Çalışma, Madencilik, Eylül 1988, Cilt XXVII, Sayı 3.
- [30] <https://www.betonvecimento.com/beton-2/cimento-miktari-beton-basinc-dayanimi-iliskisi> (06.08.2020)
- [31] <https://www.milenyumanaliz.com.tr/hizmet-detay-BETON-TEMAS-ZEMIN-SUYU-ANALIZLERI> (13.05.2021)
- [32] Prof. Dr. Hulusi Özkul, Prof. Dr. Mehmet Ali Taşdemir, Prof. Dr. Mustafa Tokyay, Prof. Dr. Mehmet Uyan, Her Yönüyle Beton, Türkiye Hazır Beton Birliği, Aralık 2004, ISBN:975-92122-3-4.
- [33] Bekir Postacıoğlu, Beton, Cilt 2, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul, 1987.

- [34] Turhan Erdoğan, Beton Oluşturan Malzemeler-Agregalar, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 1995.
- [35] Osman Şimşek, Beton ve Beton Teknolojisi, Seçkin Yayıncılık, 1.Baskı Haziran-2004.
- [36] Ferhat Aydın, Deniz Kabuğunun Beton Basınç Dayanımına Etkilerinin Araştırılması, Academic Perspective Procedia, 2019, 2.3: 1196-1204.
- [37] Prof Dr. İlker Bekir, Yrd. Doç. Dr. Osman ÜNAL, Arş. Gör. Tayfun Uygunoglu, Betonarme Yapılarda Klorür Etkisi, İMO İzmir Şubesi, Ağustos 2005, Sayı 124.
- [38] Carolina Martínez-García, Belén González-Fonteboa, Diego Carro-López, Fernando Martínez-Abella, Impact of mussel shell aggregates on air lime mortars. Pore structure and carbonation, Journal of Cleaner Production, Volume 215, 2019, Pages 650-668, 38.
- [39] Dr. Özlem Kılıç Ekici, Denizden Gelen Cevherler Deniz Kabukları, Tübitak Bilim Dergisi, Ağustos 2018, Sayı 609, Sayfa 52-61.
- [40] Carolina Martínez-García, Belén González-Fonteboa, Diego Carro-López, Fernando Martínez-Abella, Design and properties of cement coating with mussel shell fine aggregate, Construction and Building Materials, Volume 215, 2019, Pages 494-507.
- [41] Göktaş, M , Mindivan, F . (2020). Grafen Oksit ve Deniz Kabuğu Takviyeli Polivinil Klorür Hibrit Kompozitlerin Karakterizasyonu . Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi , (20) , 685-692 .
- [42] Carolina Martínez-García, Belén González-Fonteboa, Fernando Martínez-Abella, Diego Carro- López, Performance of mussel shell as aggregate in plain concrete, Construction and Building Materials, Volume 139, 2017, Pages 570-583.
- [43] Gil-Lim Yoon, Byung-Tak Kim, Baek-Oon Kim, Sang-Hun Han, Chemical-mechanical characteristics of crushed oyster-shell, Waste Management, Volume 23, Issue 9, 2003, Pages 825-834.
- [44] P. Lertwattanakul, N. Makul, C. Siripattarapivat, Utilization of ground waste seashells in cement mortars for masonry and plastering, J. Environ. Manage, 2012: 111 133-141.
- [45] Paloma Ballester, Isabel Mármol, Julián Morales, Luis Sánchez, Use of limestone obtained from waste of the mussel cannery industry for the production of mortars, Cement and Concrete Research, Volume 37, Issue 4, 2007.
- [46] H. Yoon, S. Park, K. Lee, J. Park, Oyster shell as substitute for aggregate in mortar, Waste Manag. Res., 22 (2004), pp. 158-170.

- [47] Fatemeh Soltanzadeh, Mojtaba Emam-Jomeh, Ali Edalat-Behbahani, Zahra Soltan-Zadeh, Development and characterization of blended cements containing seashell powder, *Construction and Building Materials*, Volume 161, 2018, Pages 292-304.
- [48] Monita Olivia, Revina Oktaviani, Ismeddiyanto, Properties of Concrete Containing Ground Waste Cockle and Clam Seashells, *Procedia Engineering*, Volume 171, 2017, Pages 658-663.
- [49] Monita Olivia, Annisa Arifandita Mifshella, Lita Darmayanti, Mechanical Properties of Seashell Concrete, *Procedia Engineering*, Volume 125, 2015.
- [50] N.H. Othman, B.H.A. Bakar, M.M. Don, M.A.M. Johari, Cockle shell ash replacement for cement and filler in concrete, *Mal. J. Civ. Eng.* 2013: 25 (2) 201–211.
- [51] H. Wang, W. Kuo, C. Lin, C. Po-Yo, Study of the material properties of fly ash added to oyster cement mortar, *Constr. Build. Mater.* (2013), pp. 532-537.
- [52] Gideon O. Bamigboye, Austin T. Nworgu, Abimbola O. Odetoyan, Mutiu Kareem, David O. Enabulele, Daniel E. Bassey, Sustainable use of seashells as binder in concrete production: Prospect and challenges, *Journal of Building Engineering*, Volume 34, 2021.
- [53] Christian Varhen, Shirley Carrillo, Gaby Ruiz, Experimental investigation of Peruvian scallop used as fine aggregate in concrete, *Construction and Building Materials*, Volume 136, 2017, Pages 533-540.
- [54] Eun-Ik Yang, Seong-Tae Yi, Young-Moon Leem, Effect of oyster shell substituted for fine aggregate on concrete characteristics: Part I. Fundamental properties, *Cement and Concrete Research*, Volume 35, Issue 11, 2005, Pages 2175-2182.
- [55] Eun-Ik Yang, Myung-Yu Kim, Hae-Geun Park, Seong-Tae Yi, Effect of partial replacement of sand with dry oyster shell on the long-term performance of concrete, *Construction and Building Materials*, Volume 24, Issue 5, 2010, Pages 758-765.
- [56] F. Falade, An investigation of periwinkle shells as coarse aggregate in concrete, *Building and Environment*, Volume 30, Issue 4, 1995, Pages 573-577.
- [57] J.O. Osarenmwinda, A.O. Awaro, The Potential Use of Periwinkle Shell as Coarse Aggregate for Concrete, *Trans Tech Publications, Advanced Materials Research*, Benin City, Nigeria (2009), pp. 39–43.
- [58] Gideon O. Bamigboye, Odochi Okara, Daniel E. Bassey, Kayode J. Jolayemi, David Ajimalofin, The use of *Senilia senilis* seashells as a substitute for coarse aggregate in eco-friendly concrete, *Journal of Building Engineering*, Volume 32, 2020.

- [59] BS812, Testing Aggregates Part 1: Methods for Determination of Particle Size and Shape.
- [60] G. Sağlam-Çitoğlu, O.Y. Bayraktar, Midye Kabuğunun Agregası Olarak Betonda Kullanılabilirliği (Kastamonu/Abana ve Bartın/Amasra Örneklerinin Karşılaştırılması), I. Uluslararası ABANA Sempozyumu, 232-241, 2016.
- [61] Cuadrado-Rica, H., Sebaibi, N., Boutouil, M. *et al.* Properties of ordinary concretes incorporating crushed queen scallop shells, Material and Structures, Volume 49, 2016.
- [62] Menghuan Guo, Biao Hu, Feng Xing, Xiaoqing Zhou, Meng Sun, Lili Sui, Yingwu Zhou, Characterization of the mechanical properties of eco-friendly concrete made with untreated sea sand and seawater based on statistical analysis, Construction and Building Materials, Volume 234, 2020.
- [63] W.C. Jau, J.C. Tan, C.T. Yang, Effect of sea sand on concrete durability and its management, Journal of Southeast University (Natural Science Edition), Volume 36, Issue SUPPL. 2, November 2006, Pages 160-166.
- [64] TS 802, Beton Karışımı Hesap Esasları, Mart, 2016.