




# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

## Endüstriyel Kenevir Sapı Atığının Farklı Bağlayıcılar ile Kenevir Betonunda Üretiminde Değerlendirilmesi

 Murat ŞAHİN<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik - Mimarlık Fakültesi, Yozgat Bozok Üniversitesi, Yozgat, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: murat.sahin@bozok.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.914963

### ÖZ

Geleneksel betonun çevresel etkisini düşürmek için kullanılan yöntemlerden bir tanesi bitki-bazlı agregaların kullanılmasıdır. Kenevir betonu mineral bağlayıcıların kenevir sapı parçaları ile birleştirilmesi ile elde edilmektedir. Bu çalışmada, Türkiye’de yetiştirilen atık endüstriyel kenevir saplarının kenevir betonu üretiminde değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada, üç farklı bağlayıcı (çimento, hidrolik kireç ve kireç) ile yedi farklı bağlayıcı kombinasyonu oluşturulmuştur. Kütlece bir kısım kenevir, iki kısım bağlayıcı ve iki onda bir kısım su içeren kenevir betonlarının birim hacim ağırlığı, basınç dayanımı, kapiler su emme gibi fiziksel ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Üretilen numunelere laboratuvar sıcaklığında açık kür uygulanmıştır. 28 günlük kür sonrasında birim hacim ağırlığı 401-455 kg/m<sup>3</sup>, basınç dayanımları 0,08-0,28 MPa ve kapiler su emme katsayıları 2,45-4,47 kg/m<sup>2</sup>·s<sup>1/2</sup> aralığında değişen kenevir betonları üretilmiştir. Karışımlarda hidrolik bağlayıcı miktarının azalması ile basınç dayanımının ve birim hacim ağırlıklarının azaldığı tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kenevir betonu, Endüstriyel kenevir, Endüstriyel kenevir sapı, Hidrolik kireç, Kireç

## Utilization of Industrial Hemp Stems Waste in the Production of Hemp Concrete Using Different Binders

### ABSTRACT

One of the methods used to reduce the environmental impact of conventional concrete is the use of plant-based aggregates. Hemp concrete is produced by combining mineral binders with hemp stalk particles. This study aims to utilize industrial hemp stems cultivated in Turkey in the production of hemp concrete. In the study, seven different binder combinations were composed with three different binders (cement, hydraulic lime, and lime). Physical and mechanical properties such as unit weight, compressive strength, and capillary water absorption of hemp concretes containing one part hemp, two parts binder, and two and two tenths of water by mass were investigated. The hemp concretes produced exhibited 0.08-0.28 MPa compressive strength and 2.45-4.47 kg/m<sup>2</sup>·h<sup>1/2</sup> capillary water absorption coefficients in the unit weight range of 401-455 kg/m<sup>3</sup> at the age of 28 days. A reduction in the compressive strength and unit weight was observed with the increase of hydraulic binder content in the mixtures.

**Keywords:** Hemp concrete, industrial hemp, Industrial hemp stems, Hydraulic lime, Lime.

# I. GİRİŞ

Günümüzde beton birçok uygulamada kullanılan önemli ve yaygın bir yapı malzemesidir [1]. Çağımızda, tipik olarak üretilen betonların ağırlıkça %16-20'sini bağlayıcı, %60-70'ini agregası, %6-8%'ini su ve %2-3'ünü kimyasal katkıları oluşturmaktadır [2]. Avrupa Çimento Birliği 2018 yılında çimento üretim miktarını 3,99 milyar ton olarak belirtmiştir [3]. Buna göre, günümüzde üretilen beton miktarı 25 milyar ton ve kullanılan agregası miktarı 18 milyar ton civarındadır. Monterio vd. [4] yıllık beton üretiminin 30 milyar ton civarında olduğunu belirtmişlerdir. Bu durum çevre dostu alternatif yapı malzemeleri arayışını oluşturmaktadır [5]. Dahası beton üretiminde yüksek miktarda agregası kullanımı doğal kaynakların tükenmesi ve yüksek miktarda enerji kullanımı gibi çevresel sorunlara yol açmaktadır. Dolayısıyla günümüzde az miktarda mineral agregası içeren çevresel etkisi düşük betonlar tercih edilmektedir. Mineral agregası kullanımını azaltmanın bir yöntemi, mevcut agregaların bitki bazlı agregalarla değiştirilmesidir [6].

Biyokompozitler, bitki bazlı agregaların ve/veya liflerin inorganik bağlayıcılar ile birleştirilmesi ile elde edilmektedir. Genellikle inorganik bağlayıcı olarak çimento, hidrolik kireç ve kireç gibi bağlayıcılar kullanılmaktadır [7-10]. Bunun yanında, odun talaşı [11], ayçiçeği sapı [12], bagas [13-14], bambu [15], çay atığı [16], keten [17-18], kenevir [19-20] gibi bitki bazlı agregası veya lif kullanımı ile üretilen biyokompozitler bulunmaktadır.

Değerli lif bitkileri arasında yer alan endüstriyel kenevir (*Cannabis sativa* L.) tek yıllık odunsu bir bitkidir [21]. Endüstriyel kenevirin yetiştirilme amacı lifi, tohumu veya her ikisinin kullanımını içermektedir [22]. Lifinin alınması sonrasında arta kalan kenevir sapları; sunta, izolasyon malzemesi ve sıva gibi yapı malzemeleri üretiminde kullanılmaktadır [23]. Alanyazında kenevir sapının ve lifinin biyokompozit üretiminde kullanıldığı çeşitli çalışmalar mevcuttur [24-26]. Çalışmanın geri kalanında kenevir sapı kullanılarak üretilen biyokompozitler kenevir betonu olarak adlandırılmaktadır. Kenevir betonu üretimi üzerine yapılan çalışmaların bir kısmında hidrolik kireç ve farklı puzolanların birleşimi ile elde edilen bağlayıcılar kullanılmaktadır [27-28]. Kenevir sapının birim hacim ağırlığının mineral kökenli agregalara göre oldukça düşük olması düşük birim ağırlığa sahip kompozitlerin üretilmesini olanaklı kılmaktadır. Nguyen vd. [29] kenevir sapı ve kenevir liflerini içeren 684-960 kg/m<sup>3</sup> sıkıştırılmış birim hacim ağırlığa sahip yedi farklı kenevir betonu oluşturmuş ve üretilen kenevir betonlarının mekanik özelliklerinin kenevir lifi içeriği ile artış gösterdiğini rapor etmiştir. Diğer taraftan alanyazında göreceli olarak düşük yoğunluklu kenevir betonları da bulunmaktadır. Bir örneği ticari yapı malzemesi olarak kullanılan doğal hidrolik kireç ve kenevir sapı içeren 275 kg/m<sup>3</sup> birim hacim ağırlığa sahip olan kenevir betonudur [30]. Kenevir sapının doğal ve hafif bir malzeme olmasından dolayı yüksek oranda kenevir sapı içeren çalışmalarda yoğunluğun yanında dayanımda da ciddi azalmalar mevcuttur. Alanyazında, birim hacim ağırlığı 270-850 kg/m<sup>3</sup> arasında değişen 2 MPa'dan daha az dayanıma sahip kenevir sapı içeren kenevir betonlarına sıklıkla rastlanmaktadır [31-32]. Düşük birim hacim ağırlığa sahip kenevir betonlarının diğer önemli özellikleri düşük termal iletkenliğe ve yüksek ısı kapasitesine sahip olmalarıdır. Kuru birim hacim ağırlığı 200-800 kg/m<sup>3</sup> arasında değişen kenevir betonlarının termal iletkenlikleri 0.06-0.12 W/m.K olarak belirtilmiştir [33]. Evrard vd. [34] kenevir içeren kompozitlerin ısı kapasitelerini 1500 J/kg.K olarak rapor etmiştir.

Ülkemizde kenevir betonu üretimine yönelik çalışmalar oldukça kısıtlıdır. Genel olarak lif içeren kompozitlere yönelik olan bu çalışmalarda kenevir lifi kullanılmıştır [35-38]. Çomak vd. [35] kenevir lifinin miktarının ve uzunluğunun çimento esaslı harçlarda kullanımını araştırmıştır. Serin vd. [36] kenevir lifi miktarının bitümlü sıcak karışımlardaki gerilmelere karşı kullanılabilirliği üzerine deneysel bir çalışma gerçekleştirmiştir. Yılmaz [37] kenevir lifi içeren polimer tabanlı biyokompozit üretimi üzerine bir araştırma gerçekleştirmiştir. Aslan [38] taş mastik asfaltlarda bitümün agregası yüzeyinden akmasına kenevir lifinin etkisini incelemiştir.

29 Eylül 2016 tarihli ve 29842 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan "Kenevir Yetiştiriciliği ve Kontrolü Hakkında Yönetmelik" kapsamında ülkemizde 19 ile kenevir yetiştirme izni verilmiştir [39]. Ayrıca, Yozgat Bozok Üniversitesi "Endüstriyel Kenevir" alanında "Bölgesel Kalkınma Odaklı İhtisaslaşan

Üniversite" seçilmiştir [40]. Ülkemizde daha öncesinde üretimi çok kısıtlı olan kenevir bitkisinin son yönetmelikle beraber üretiminin artacağı ve ülkemizin kalkınmasında önemli bir rol oynayacağı düşünülmektedir. Bu bağlamda üretilen kenevirin birçok sektörde kullanımını artacaktır. Buna ek olarak, endüstriyel kenevir sapı atığının üretim ve tüketime bağlı olarak artacağı da düşünülmektedir.

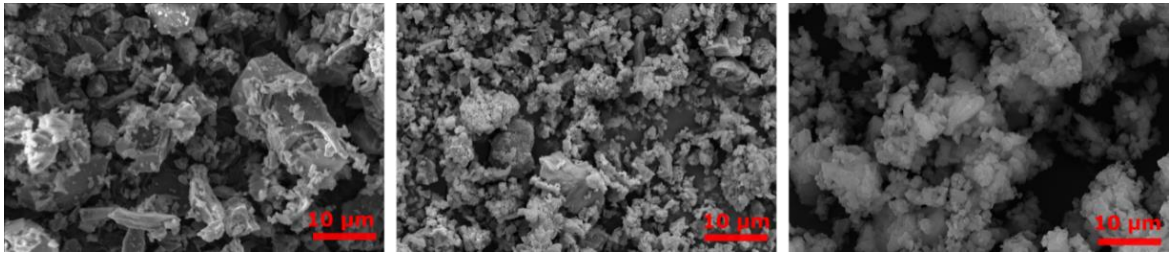
Bu araştırma Türkiye'de yetiştirilen endüstriyel kenevir sapı atıklarının kenevir betonu üretiminde değerlendirilmesini amaçlamaktadır. Bu doğrultuda çalışmada üç farklı bağlayıcı (çimento, hidrolik kireç ve kireç) kullanılmıştır. Bu bağlayıcılar ile 7 farklı bağlayıcı kompozisyonu oluşturulmuştur. Kütlece bir kısım kenevir, iki kısım bağlayıcı ve iki onda bir kısım su içeren kenevir betonları üretilmiştir. Üretilen kenevir betonlarının birim hacim ağırlıkları, basınç dayanımları ve su emme miktarları gibi fiziksel ve mekanik özelliklerine bağlayıcıların etkisi araştırılmıştır.

## **II. MATERYAL METOD**

Bu çalışmada üç farklı bağlayıcı, TS EN 197-1'e uygun olarak üretilen CEM I 42.35 R tipi Portland çimentosu, TS EN 459-1'e uygun olarak üretilen CL-80S tipi sönmüş kalsiyum kireci ve NHL3,5 tipi hidrolik kireci kullanılmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan çimento ve hidrolik kireç hidrolik bağlayıcı sınıfında iken sönmüş kalsiyum kireci hava bağlayıcıları (hidrolik olmayan) sınıfına girmektedir. Çimento ve hidrolik kirecin kimyasal kompozisyonları Tablo 1'de verilmiştir. Kullanılan çimentonun, hidrolik kirecin ve kirecin özgül ağırlıkları Le Chatelier balonu kullanımı ile sırasıyla 3.10, 2.52 ve 2.28 olarak ölçülmüştür. Ayrıca kullanılan bağlayıcıların taramalı elektron mikroskobu görüntüsü Şekil 1'de verilmiştir. Bağlayıcıların tanecik boyut dağılımları ve şekilleri arasındaki farklılıklar oldukça belirgindir. Burada alınan görüntü kesiti değerlendirildiğinde, en iri tanecik boyutu dağılımının çimentoda ve en ince tanecik boyutu dağılımının ise hidrolik kireçte olduğu görülmektedir.

*Tablo 1. Kullanılan bağlayıcıların kimyasal özellikleri.*

| <b>Oksit</b>                   | <b>Çimento</b> | <b>Hidrolik Kireç</b> |
|--------------------------------|----------------|-----------------------|
| CaO                            | 61,83          | 63,94                 |
| SiO <sub>2</sub>               | 18,37          | 9,12                  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 5,41           | 2,40                  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 3,20           | 0,98                  |
| MgO                            | 2,35           | 2,34                  |
| SO <sub>3</sub>                | 3,52           | 0,97                  |
| K <sub>2</sub> O               | 1,13           | 0,59                  |
| Na <sub>2</sub> O              | 0,21           | 0,24                  |
| Serbest CaO                    | 0,95           | -                     |
| Kızdırma Kaybı                 | 3,30           | 17,00                 |



(a)

(b)

(c)

*Şekil 1. Kullanılan bağlayıcıların SEM görüntüleri: (a) çimento, (b) hidrolik kireç, (c) kireç.*

Karışımların oluşturulmasında kullanılan agregalar Yozgat Bozok Üniversitesi Kenevir Enstitüsü tarafından ham olarak temin edilen kenevir saplarının parçalanması ile elde edilmiştir. Ham kenevir saplarının boyları 2 ila 5 metre arasında değişmektedir. Kenevir sapları ilk önce tezgahlı dairesel testere ile yaklaşık 30 cm boyuta indirgenmiş ve bıçaklı değirmen kullanılarak parçalanmıştır. Elde edilen kenevir sapı parçaları homojenliğin sağlanması için 8 mm elekten geçirilmiştir. Kenevir sapı parçaları depolanmadan önce 60 °C sıcaklıkta 24 boyunca tutulmuştur. Bu aşamadan sonra elde edilen ürün kenevir sapı agregası olarak adlandırılmaktadır. Kenevir sapı agregalarının birim hacim ağırlığı RİLEM Teknik Grubu 236-BBM'nin önerdiği şekilde gerçekleştirilmiştir [41] ve 113,5 kg/m<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında üretilen karışımlar kütlece bir kısım kenevir sapı agregası (K) iki kısım bağlayıcı (B) ve iki tam onda iki kısım su (S) kullanılarak hazırlanmıştır. Diğer bir deyişle, karışımlar kütlece 1K:2B:2.2S oranıyla üretilmiştir. Çimento, hidrolik kireç ve kirecin farklı oranlarda kullanılmasıyla 7 farklı bağlayıcı oluşturulmuştur. Bu bağlayıcıların kütlece kullanım oranları Tablo 1'de verilmiştir. Numunelerin adlandırılmasında bağlayıcıların kısaltması kullanılmıştır. Örneğin, 50C25HK25K kodlu numunenin bağlayıcısı kütlece %50 oranında çimento, %25 hidrolik kireç ve %25 oranında kireç içermektedir.

*Tablo 2. Karışım oranları.*

| No | Kodu       | Çimento | Hidrolik Kireç (%) | Kireç |
|----|------------|---------|--------------------|-------|
| 1  | 100C       | 100     | -                  | -     |
| 2  | 75C25HK    | 75      | 25                 | -     |
| 3  | 50C50HK    | 50      | 50                 | -     |
| 4  | 50C25HK25K | 50      | 25                 | 25    |
| 5  | 100HK      | -       | 100                | -     |
| 6  | 75HK25K    | -       | 75                 | 25    |
| 7  | 50HK50K    | -       | 50                 | 50    |

Numune üretimi standart çimento mikseri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kenevir sapı agregasının karıştırma hızından etkilenmemesi için tüm karıştırma işlemi yavaş hızda gerçekleştirilmiştir. Karıştırma işlemine kenevir sapı agregası ve karışım suyunun %60'ının 120 s boyunca karıştırılmasıyla başlanmıştır. Sonrasında bağlayıcı karıştırma kabına ilave edilmiş ve 30 s karıştırılmıştır. Ardından karıştırma suyunun kalanı (karışım suyunun %40) karıştırma kabına eklenmiş ve 30 s süreyle karıştırılmıştır. 150 s dinlenmeye bırakılan karışımın ilk 30 saniyesinde kenarlara ve karıştırma ucuna yapışan kısımlar temizlenmiştir. Son olarak, karışım kalıplara yerleştirilmeden önce 150 s boyunca karıştırılmıştır. Numune üretiminde 5 cm kenar uzunluğuna sahip kalıplar kullanılmıştır. Karışım kalıplara üç kademe yerleştirilmiş ve her kademe yaklaşık 5 cm kare kesitli bir ahşap tokmak ile sıkıştırılmıştır. Üretilen numuneler oda sıcaklığında yaklaşık 21±2 °C sıcaklıkta açık küre tabi tutulmuştur.

Numunelerin kütleleri dökümden 3, 14 ve 28 gün sonra ± 0,01 g hassasiyete sahip laboratuvar terazisi kullanılarak ölçülmüştür. Birim hacim ağırlıklar ise kütlelerinin görünen hacmine bölünmesiyle elde edilmiştir. Basınç dayanımı belirlenmesi için çimento presi kullanılmıştır. Numunelerin basınç dayanımı üç adet 5 cm kenar uzunluğuna sahip numunelerin ortalamasıdır. Basınç dayanımı testinde numunelerin zarar görmemesi için yükleme hızı 20 N/s olarak belirlenmiştir. Şekil 2'de 100HK numunesi için basınç dayanımı test süreci görülmektedir.

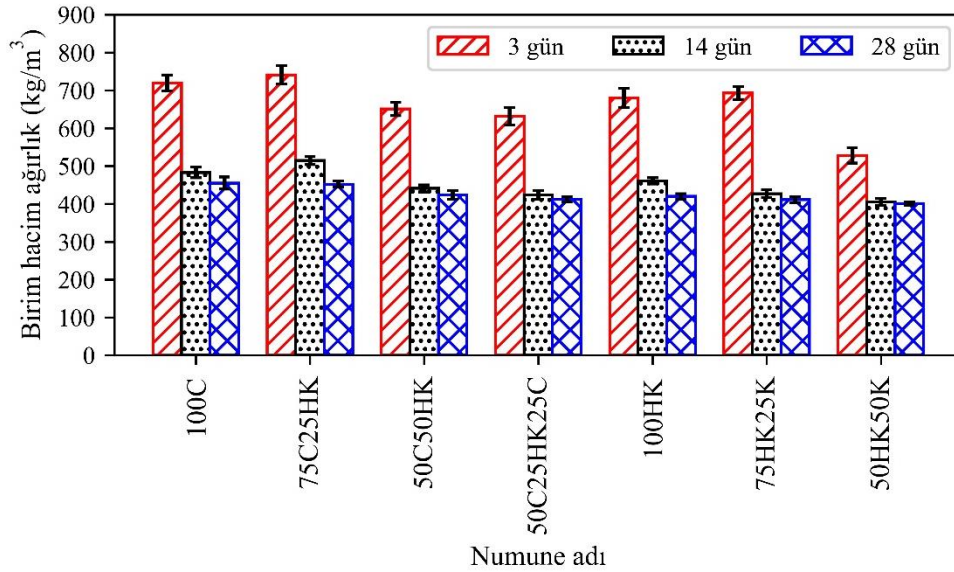


*Şekil 2. Basınç dayanım testinin 100HK numunesi üzerinde gerçekleştirilmesi.*

Numunelerin kapiler su emme değerleri ASTM C1585 [42] standardına uygun bir şekilde belirlenmiştir. Ancak, test süresi, numunelerin ön koşullandırması ve boyutu verilen standarttan farklıdır. 5 cm kenar uzunluğuna sahip 3 adet numune 28 günlük kür sonrasında direkt su emme testine tabi tutulmuştur. Su emme testi 1 gün sonunda tamamlanmıştır. Elde edilen sonuçlar 3 numunenin ortalamasıdır. Numuneler üzerinde tek yönlü su emmenin sağlanması için numunelerin kenarları ve üstleri silikonlu bantla kaplanmıştır.

### **III. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME**

Üretilen kenevir betonlarının birim hacim ağırlıklarının numune yaşı ve bağlayıcı tipi ile değişimi Şekil 3'te verilmektedir. Numunelerin 3, 14 ve 28. günde belirlenen birim hacim ağırlıkları sırasıyla 528-741 kg/m<sup>3</sup>, 405-515 kg/m<sup>3</sup> ve 401-455 kg/m<sup>3</sup> aralığında değişkenlik göstermektedir. Veriler incelendiğinde numunelerin yaşının artışı ile birim hacim ağırlığının azaldığı görülmektedir. Bu durumun temel sebebi oda sıcaklığında kür edilen numunelerde oluşan su kaybıdır. Bu su kaybı aynı zamanda kullanılan bağlayıcılarla farklılık göstermektedir. Örneğin, 3 ve 28 gündeki birim hacim ağırlıklar incelendiğinde: sadece hidrolik kireç kullanılarak üretilen HK75K25 numunesinde en düşük iken kireç ve hidrolik kireç karışımından oluşan 50HK50K numunesinde en yüksek birim hacim ağırlık değişimi görülmüştür.

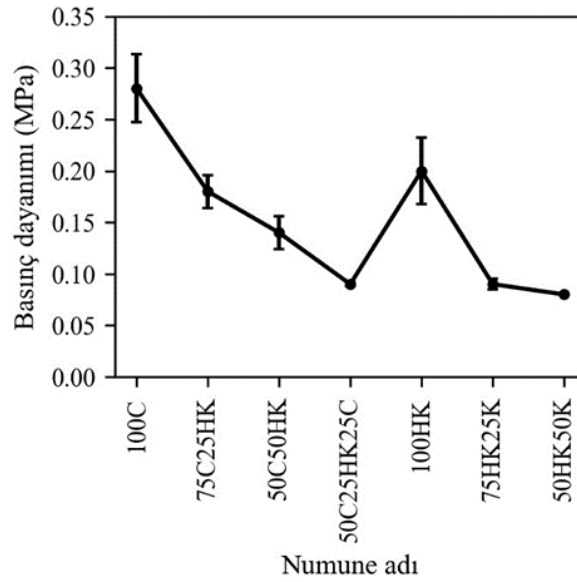


*Şekil 3. Üretilen numunelerin birim hacim ağırlıklarının bağlayıcı tipi ve numune yaşı ile değişimi.*

Numunelerin 28 günde ölçülen birim ağırlıkları incelendiğinde en yüksek birim ağırlık sadece çimento kullanılarak üretilen 100C numunesinde ve en düşük birim ağırlık ise hidrolik kireç ve kireç karışımı kullanılarak üretilen 50HK50K numunesinde görülmektedir. Bu durum bağlayıcıların özgül ağırlığından kaynaklanmaktadır. Özgül ağırlıklar kıyaslandığından çimento en yüksek, hidrolik kireç ve kireç

karışımı en düşük özgül ağırlığa sahiptir. Benzer bir etki bağlayıcının değişimi ile görülmektedir. Bağlayıcısı sadece çimento olan karışıma özgül ağırlığı daha düşük olan hidrolik kireç ve kireç (C75HK25, C50HK50 ve C5025HK25K) ikame edilmesi ile üretilen numunelerin birim hacim ağırlıklarında azalmalar görülmüştür. Bu durum bağlayıcısı sadece hidrolik kireçten oluşan karışıma kireç (75HK25K ve 50HK50K) ikame edilmesi ile üretilen numunelerde de görülmektedir.

Şekil 4'te üretilen kenevir betonlarının 28 günlük basınç dayanımlarının bağlayıcı tipi ile değişimi verilmektedir. Sadece çimento (100C) ve sadece hidrolik kireç (HK100) içeren bağlayıcılara hidrolik kireç ve/veya kireç ikame edilmesiyle dayanımın azaldığı görülmektedir. 100C karışımına %25 ve %50 hidrolik kireç ikame edilmesi ile sırasıyla yaklaşık %35 ve %50 oranında dayanımda azalma gözlenmiştir. Bunun yanı sıra, 100C karışımına %25 hidrolik ve %25 kireç ikame edilmesi ile dayanım yaklaşık %70 oranında azalmıştır. Burada çimentoya kireç ikamesinin dayanım üzerindeki negatif etkisinin hidrolik kirecin dayanım üzerindeki negatif etkisinden daha fazla olduğu görülmektedir. Benzer şekilde 100HK karışımına %25 ve %50 kireç ikame edilmesiyle dayanımda sırasıyla %52 ve %60 oranında azalma tespit edilmiştir.

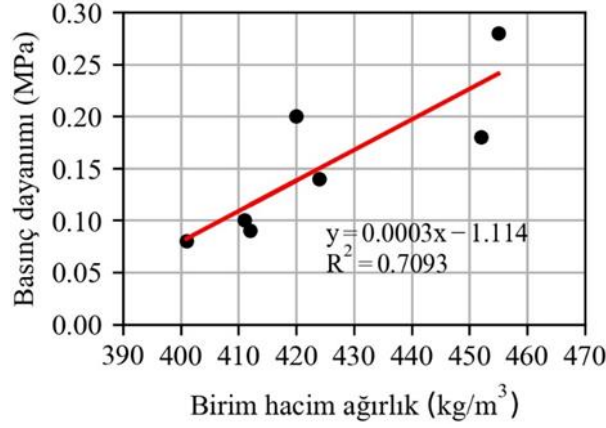


**Şekil 4.** Üretilen numunelerin 28 günlük basınç dayanımının bağlayıcı tipi ile değişimi.

Sadece çimento (100C) ve sadece hidrolik kireç (HK100) içeren bağlayıcılara hidrolik kireç ve/veya kireç ikame edilmesiyle dayanımın azaldığı görülmektedir. 100C karışımına %25 ve %50 hidrolik kireç ikame edilmesi ile sırasıyla yaklaşık %35 ve %50 oranında dayanımda azalma gözlenmiştir. Bunun yanı sıra, 100C karışımına %25 hidrolik ve %25 kireç ikame edilmesi ile dayanım yaklaşık %70 oranında azalmıştır. Burada çimentoya kireç ikamesinin dayanım üzerindeki negatif etkisinin hidrolik kirecin dayanım üzerindeki negatif etkisinden daha fazla olduğu görülmektedir. Benzer şekilde 100HK karışımına %25 ve %50 kireç ikame edilmesiyle dayanımda sırasıyla %52 ve %60 oranında azalma tespit edilmiştir.

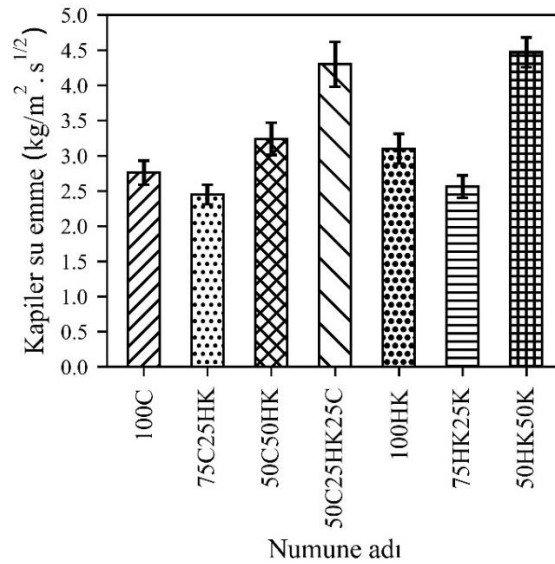
Üretilen kenevir betonlarının basınç dayanımları ile birim hacim ağırlıkları ilişkisi Şekil 5'te verilmektedir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde üretilen kenevir betonlarının basınç dayanımı ile birim hacim ağırlıkları arasında korelasyonu düşük bir bağıntı elde edilmiştir. Bir başka deyişle, numunelerin birim hacim ağırlıkları birbirine çok yakın iken dayanımları arasında yüksek farklılıklar elde edilmiştir. Bu durum 100C ile 75C25K ve 50C50HK ile 100HK numuneleri arasında belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Birim hacim ağırlıkları 450 kg/m<sup>3</sup>civarında olan 100C ile 75C25K numuneleri arasındaki dayanım farkı yaklaşık %55 oranında iken 420 kg/m<sup>3</sup> civarında birim hacim ağırlığa sahip olan 50C50HK ile 100HK numuneleri arasındaki dayanım farkının yaklaşık %43 oranında olduğu görülmektedir. Bu durum, kullanılan bağlayıcının dayanım kazanma şeklindeki farklılıklardan

kaynaklanmaktadır. Üretilen kenevir betonlarının basınç dayanımları benzer birim hacim ağırlıkta geçmiş çalışmalarla kıyaslandığında kabul edilebilir bir seviyede olduğu görülmektedir [44]. Ancak farklı tip bağlayıcılar kullanılarak daha yüksek dayanımlı kenevir betonları da rapor edilmiştir [45].



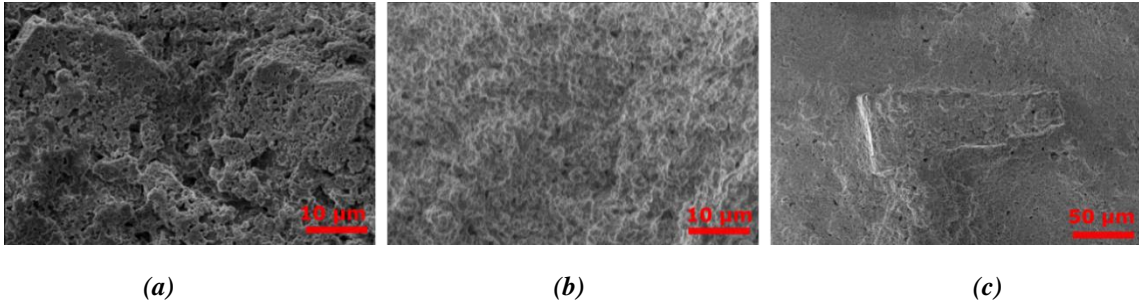
Şekil 5. Üretilen numunelerin basınç dayanımlarının birim hacim ağırlık ilişkisi.

Şekil 6'da üretilen kenevir betonlarının kapiler su emme katsayılarının bağlayıcı tipi ile değişimi verilmektedir. Üretilen numunelerin kapiler su emme katsayıları 2,45 ile 4,47  $\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}^{1/2}$  arasında değişmektedir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde en yüksek kapiler su emme katsayısı sadece çimento kullanılarak üretilen 100C numunesinde iken en düşük kapiler su emme katsayısı ise hidrolik kireç ve kireç karışımından oluşan 50HK50C numunesinde görülmüştür. Karışımlar içerisinde ikame bağlayıcı miktarının %25'i geçmesi ile sadece çimento ve hidrolik kireçten oluşan numunelerin su emme katsayıları artış göstermiştir. Sadece çimento içeren karışıma %25 hidrolik kireç ikame edilmesi ve sadece hidrolik kireç içeren karışıma %25 kireç ikame edilmesi ile kapiler su emme katsayılarında azalma görülmektedir. Bu durumun ikame sonrasında karışım içerisinde toplam bağlayıcı hacminin daha fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Alanyazında kapiler su emme katsayıları benzer birim hacim ağırlıktaki kenevir betonları için geniş bir aralıkta değişmektedir. Örneğin, Walker ve Pavia [46] ürettiği  $360 \text{ kg/m}^3$  birim hacim ağırlığındaki kenevir betonları için kapiler su emme katsayılarını  $2,65$  ile  $3,37 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}^{1/2}$  arasında rapor etmiştir. Seng vd. [47] ise kireç ve metakaolin kullanılarak üretilen  $446 \text{ kg/m}^3$  kenevir betonların kapiler su emme değerini yaklaşık  $8,40 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}^{1/2}$  olduğunu belirtmiştir. Elde edilen sonuçlar arasındaki farklılıklar kenevir sapı agregalarındaki farklılık, bağlayıcı tipi ve miktarı ve test koşullarından kaynaklanmaktadır.



Şekil 6. Üretilen numunelerin kapiler su emme katsayılarının bağlayıcı tipi ile değişimi.

Seçilen kenevir betonlarının iç yapılarının SEM görüntüleri Şekil 7’de verilmektedir. Sadece çimento kullanılarak üretilen C100, sadece hidrolik kireç kullanılarak üretilen HK100, ve kütlece %50 hidrolik kireç ve %50 kireç içeren HK50K50 kodlu kenevir betonlarında bağlayıcı değişiminin iç yapıda oluşturduğu farklılıklar belirgin bir şekilde görülmektedir. Şekil 7 (a)’da görüldüğü üzere sadece çimento kullanılarak üretilen kenevir betonlarının iç yapısı daha yoğun görünmesine rağmen daha boşluklu bir yapıya sahiptir. Sadece hidrolik kireç kullanılan karışımlarda ise daha az kapiler boşluğun olduğu Şekil 7 (b)’de görülmektedir. Bu durum her iki bağlayıcının dayanım kazanma ve su ile reaksiyonu sonucunda oluşturdukları hidratasyon ürünlerindeki farklılıklardan oluştuğu düşünülmektedir. Numunelerin hidrolik kireç ve kireç karışımı ile oluşturulan bağlayıcı ile bütünüyle kaplanmasının bir görüntüsü Şekil 7 (c)’de görülmektedir. Kenevir sapı agregasının bağlayıcı ile düzgün bir şekilde kaplandığı net bir şekilde görülmektedir. Bağlayıcının kenevir sapı agregasını tamamiyle kaplamasının ilerleyen yaşlarda kenevir betonlarının özelliklerini olumlu etkilemesi muhtemeldir. Bunun yanında kesitte düzensiz olarak dağılmış boşluklar görülmektedir.



Şekil 7. Kenevir betonlarının SEM incelemesi: (a) C100, (b) HK100, (c) HK50K50

## IV. SONUÇ

Çalışma kapsamında Türkiye’de yetiştirilen atık kenevir saplarının kullanımı ile üretilen kenevir betonlarının fiziksel ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Kenevir betonlarının 28 gün sonunda birim hacim ağırlığı 401 ile 455 kg/m<sup>3</sup>, dayanımları 0,08 ile 0,28 MPa ve kapiler su emme katsayıları 2,45 ile 4,47 kg/m<sup>2</sup>·s<sup>1/2</sup> aralığında değişmektedir. Üretilen kenevir betonlarında en yüksek dayanım ve birim hacim ağırlık sadece çimentonun bağlayıcı olarak kullanıldığı numunelerde elde edilmiştir. Diğer taraftan en düşük dayanım ve birim hacim ağırlık eş miktarda hidrolik kireç ve kireç bağlayıcıları kullanılarak üretilen kenevir betonlarında görülmektedir. Çimento yerine hidrolik kireç, kireç ve hidrolik kireç yerine kireç kullanımı ile kenevir betonların basınç dayanımları ve birim hacim ağırlıkları azalmıştır. Diğer taraftan kapiler su emme katsayısı ile bağlayıcı tipi arasında belirgin bir ilişki tespit edilmemiştir.

**TEŞEKKÜR:** Bu çalışma Yozgat Bozok Üniversitesi Proje Koordinasyon Uygulama ve Araştırma Merkezi tarafından desteklenmiştir (Proje no: 6608-MÜH/20-370). Ayrıca desteklerinden dolayı Yozgat Bozok Üniversitesi Kenevir Araştırmaları Enstitüsü’ne teşekkürlerimi sunarım.

## V. KAYNAKLAR

- [1] T. Y. Erdoğan, *Beton*. 2. baskı, Ankara, Türkiye: ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim, 2007, böl. 1, ss. 1- 6.
- [2] Z. Li, *Advanced Concrete Technology*, New Jersey, Amerika: John Wiley & Sons, New Jersey United States of America, 2011, böl 9, ss. 476.



- [3] CEMBUREAU. (2021, 5 Nisan). *Key facts and figures*. [Online]. Erişim: <http://www.cembureau.eu/about-our-industry/key-facts-figures/>
- [4] P. J. M. Monteiro, A. M. Sabbie ve H. Arpad, "Towards sustainable concrete," *Nature Materials*, vol. 16, no. 7, pp. 698-699, 2017.
- [5] M. Kaya, "Yüksek ve düşük kalsiyum içeren uçucu küller ile üretilen geopolimer harçların fiziksel ve mekanik özelliklerinin incelenmesi," *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, c. 9, s. 2, ss. 96-104, 2021.
- [6] J. K. Prusty, S. K. Patro ve S. S. Basarkar, "Concrete using agro-waste as fine aggregate for sustainable built environment--A review," *International Journal of Sustainable Built Environment*, vol. 5, no. 2, pp. 312-333, 2016.
- [7] S. Benfratello, C. Capitano, G. Peri, G. Rizzo, G. Scaccianoce ve G. Sorrentino, "Thermal and structural properties of a hemp--lime biocomposite," *Construction and Building Materials*, vol. 48, pp. 745-754, 2013.
- [8] O. Kinnane, A. Reilly, J. Grimes, S. Pavia ve R. Walker, "Acoustic absorption of hemp-lime construction," *Construction and Building Materials*, vol. 122, pp. 674-682, 2016.
- [9] N. Stevulova, L. Kidalova, J. Cigasova, J. Junak, A. Sicakova ve E. Terpakova, "Lightweight composites containing hemp hurds," *Procedia Engineering*, vol. 65, pp. 69-74, 2013.
- [10] P. B. de Bruijn, K. H. Jeppsson, K. Sandin ve C. Nilsson, "Mechanical properties of lime--hemp concrete containing shives and fibres," *Biosystems engineering*, vol. 103, no. 4, pp. 474-479, 2009.
- [11] H. Temiz , M. Maras ve F. Kantarcı , "Polimer katkılı kompozitlerin mekanik ve yalıtım özelliklerinin incelenmesi", *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 8, s. 2, ss. 1394-1406, 2020.
- [12] R. Jarabo, M. C. Monte, E. Fuente, S. F. Santos ve C. Negro, "Corn stalk from agricultural residue used as reinforcement fiber in fiber-cement production," *Industrial Crops and Products*, vol. 43, pp. 832-839, 2013.
- [13] L. K. Aggarwal, "Bagasse-reinforced cement composites," *Cement and Concrete Composites*, vol. 17, no. 2, pp. 107-112, 1995.
- [14] D. Verma, P. C. Gope, M. K. Maheshwari ve R. K. Sharma, "Bagasse fiber composites-A review," *J. Mater. Environ. Sci*, vol. 3, no. 6, pp. 1079-1092, 2012.
- [15] S. Qaiser, A. Hameed, R. Alyousef, F. Aslam, ve H. Alabduljabbar, "Flexural strength improvement in bamboo reinforced concrete beams subjected to pure bending," *Journal of Building Engineering*, vol. 31, pp. 101289, 2020.
- [16] İ. Demir, "An investigation on the production of construction brick with processed waste tea," *Building and Environment*, vol. 41, no. 9, pp. 1274-1278, 2006.
- [17] M. Rahim, O. Douzane, A. T. Le, G. Promis, B. Laidoudi, A. Crigny ve T. Langlet, "Characterization of flax lime and hemp lime concretes: Hygric properties and moisture buffer capacity," *Energy and Buildings*, vol. 88, pp. 91-99, 2015.
- [18] L. Yan, N. Chouw ve K. Jayaraman, "Flax fibre and its composites--A review," *Composites Part B: Engineering*, vol. 56, pp. 296-317, 2014.

- [19] S. Pantawee, T. Sinsiri, C. Jaturapitakkul ve P. Chindaprasirt, "Utilization of hemp concrete using hemp shiv as coarse aggregate with aluminium sulfate [ $Al_2(SO_4)_3$ ] and hydrated lime [ $Ca(OH)_2$ ] treatment," *Construction and Building Materials*, vol. 156, pp. 435-442, 2017.
- [20] M. Rahim, O. Douzane, A.T. Le, G. Promis ve T. Langlet, "Characterization and comparison of hygric properties of rape straw concrete and hemp concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 102, pp. 679-687, 2016.
- [21] L. Yazıcı, G. Yılmaz, T. Koçer ve H. Şakar, "Investigation of some yield characteristics of hemp (*Cannabis sativa* L.) in Tokat Ecology," *Journal of International Environmental Application and Science*, c. 15, s. 2, ss. 104-108, 2019.
- [22] M. Aydoğan, Y. E. Terzi, Ş. Gizlenci, A. Mustafa, E. Alpay ve H. Meral, "Türkiye'de kenevir yetiştiriciliğinin ekonomik olarak yapılabilirliği: Samsun ili Vezirköprü ilçesi örneği," *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, c. 35, s. 1, ss. 35-50, 2019.
- [23] İ. Demir ve C. Doğan, "Physical and mechanical properties of hempcrete," *The Open Waste Management Journal*, vol. 13, no. 1, pp. 26-34, 2020.
- [24] A. Shahzad, "Hemp fiber and its composites - A review," *Journal of Composite Materials*, vol. 46, no. 8, pp. 973-986, 2012.
- [25] S. Elfordy, F. Lucas, F. Tancret, Y. Scudeller ve L. Goudet, "Mechanical and thermal properties of lime and hemp concrete ("hempcrete") manufactured by a projection process," *Construction and Building Materials*, vol. 22, no. 10, pp. 2116-2123, 2008.
- [26] E. Awwad, M. Mabsout, B. Hamad, M. T. Farran ve H. Khatib, "Studies on fiber-reinforced concrete using industrial hemp fibers," *Construction and Building Materials*, vol. 35, pp. 710-717, 2012.
- [27] R. Walker, S. Pavia ve R. Mitchell, "Mechanical properties and durability of hemp-lime concretes," *Construction and Building Materials*, vol. 61, pp. 340-348, 2014.
- [28] P. Tronet, T. Lecompte, V. Picandet ve C. Baley, "Study of lime hemp concrete (LHC)--Mix design, casting process and mechanical behaviour," *Cement and Concrete Composites*, vol. 67, pp. 60-72, 2016.
- [29] T. T. Nguyen, V. Picandet, S. Amziane ve C. Baley, "Influence of compactness and hemp hurd characteristics on the mechanical properties of lime and hemp concrete," *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, vol. 13, no. 9, pp. 1039-1050, 2009.
- [30] T. Abbot. (2021, 5 Nisan). *Hempcrete factsheet*. [Online]. Erişim: <https://limecrete.co.uk/hempcrete-factsheet/>
- [31] T. T. Nguyen, V. Picandet, P. Carre, T. Lecompte, S. Amziane, ve Baley, C., "Effect of compaction on mechanical and thermal properties of hemp concrete," *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, vol. 14, no. 5, pp. 545-560, 2010.
- [32] G. Balčiūnas, S. Vėjelis, S. Vaitkus, A. Kairyte, "Physical properties and structure of composite made by using hemp hurds and different binding materials," *Procedia Engineering*, vol. 57, pp. 159-166, 2013.
- [33] L. Arnaud ve E. Gourlay, "Experimental study of parameters influencing mechanical properties of hemp concretes," *Construction and Building Materials*, vol. 28, no. 1, pp. 50-56, 2012.

- [34] A. Evrard, A. De Herde ve J. Minet, "Dynamical interactions between heat and mass flows in Lime-Hemp Concrete," *3rd International Building Physics Conference*, Montreal, Canada, 2006, ss. 27-31.
- [35] B. Çomak, A. Bideci ve Ö. S. Bideci, "Effects of hemp fibers on characteristics of cement-based mortar," *Construction and Building Materials*, vol. 169, pp. 794-799, 2018.
- [36] S. Serin, M. E. Macit, E. C. Çınar ve S. Çelik, "Doğal kenevir lifi kullanımının asfalt beton karışımlara etkisi," *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 6, s. 4, ss. 732-744, 2018.
- [37] A. Yılmaz, "Kenevir fiber katkılı biyokompozit malzeme geliştirilmesi," Yüksek lisans tezi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2020
- [38] İ. Aslan, "Taş mastik asfalt kaplamalarda doğal kenevir lifinin selülozik fiber yerine kullanılabilirliğinin araştırılması," Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yozgat Bozok Üniversitesi, Yozgat, Türkiye, 2020.
- [39] Kenevir yetiştiriciliği ve kontrolü hakkında yönetmelik, *T.C. Resmi Gazete*, Sayı: 29842, 29 Eylül 2016.
- [40] Yozgat Bozok Üniversitesi Kenevir Enstitüsü. (2021, 5 Nisan). *Bölgesel kalkınma odaklı ihtisaslaşan üniversite seçilmesi*. [Online]. Erişim: <http://kenevir.bozok.edu.tr/basin/haber/universitemiz-endustriyel-kenevir-alaninda-bolgesel-kalkinma-odakli-ihtisaslasan-universite-secildi,tr-2054.aspx>
- [41] S. Amziane, F. Collet, M. Lawrence, C. Magniont, V. Picandet ve M. Sonebi, "Recommendation of the RILEM TC 236-BBM: characterization testing of hemp shiv to determine the initial water content, water absorption, dry density, particle size distribution and thermal conductivity," *Materials and Structures*, vol. 50, no. 3, pp. 1-11, 2017.
- [42] *Standard test method for measurement of rate of absorption of water by hydraulic-cement concretes*, ASTM International ASTM C1585-20, 2020.
- [43] B. A. Silva, A. F. Pinto ve A. Gomes., "Natural hydraulic lime versus cement for blended lime mortars for restoration works. *Construction and Building Materials*, vol. 94, pp. 346-360, 2015.
- [44] T. Jami, S. R. Karade ve L. P. Singh, "A review of the properties of hemp concrete for green building applications", *Journal of Cleaner Production*, vol. 239, pp. 117852, 2019.
- [45] E. Sassoni, S. Manzi, A. Motori, M. Montecchi ve M. Canti, "Novel sustainable hemp-based composites for application in the building industry: Physical, thermal and mechanical characterization," *Energy and Buildings*," vol. 77, pp. 219-226, 2014.
- [46] R. Walker ve S. Pavia, "Moisture transfer and thermal properties of hemp–lime concretes," *Construction and Building Materials*, vol. 64, pp. 270-276, 2014.
- [47] B. Seng ve C. Magniont ve S. Lorente, "Characterization of a precast hemp concrete block. Part II: Hygric properties," *Journal of Building Engineering*, vol. 24, pp. 100579, 2019.