



T.C.

TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

**KENEVİRİN TARIMSAL YAPILARDA KULLANILAN BETONUN
BAZI ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmet Ozan AKINCI

Danışman: Prof. Dr. Sedat KARAMAN

TOKAT- 2023

ETİK SÖZLEŞME

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Prof. Dr. Sedat KARAMAN danışmanlığında hazırlamış olduğum “Kenevirin Tarımsal Yapılarda Kullanılan Betonun Bazı Özelliklerine Etkisi” adlı Yüksek Lisans tezinin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

16/01/2023

Ahmet Ozan AKINCI

JÜRİ KABUL VE ONAY



TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı tez konusu olarak öneren ve araştırmanın danışmanlığını üzerine alan, hazırlanması ve yürütülmesinde her türlü desteği gösteren hocam Prof. Dr. Sedat KARAMAN'a, çalışma ve deneyler sırasında yardımlarını esirgemeyen hocam Dr. Öğr. Üyesi Murat ÇAVUŞ ve Arş. Gör. Dr. Serkan YAZAREL'e laboratuvar olanaklarını sunarak çalışmalarımın gerçekleşebilmesini sağlayan Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi ile Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi'ne teşekkür ederim. Ayrıca maddi ve manevi her türlü desteğini bana hissettiren ve eğitim hayatımda bu aşamaya gelebilmemi sağlayan anne ve babam Nurhan-Sezai AKINCI'ya sonsuz saygı ve sevgilerimi sunarım.

Ahmet Ozan AKINCI

ÖZET

KENEVİRİN TARIMSAL YAPILARDA KULLANILAN BETONUN BAZI ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Akıncı, Ahmet Ozan
Yüksek Lisans, Biyosistem Mühendisliği Bilim Dalı
Tez Danışmanı: Prof. Dr. Sedat Karaman
Şubat 2023, ix+53 sayfa

Yapı malzemeleri arasında dünyada en fazla kullanılan beton, tarımsal yapılarda da en fazla karşılaşılan malzemelerin başında gelmektedir. Gün geçtikçe artan teknolojiye hızlı gelişmelerle birlikte betonun farklı özelliklerini iyileştirerek sakıncalı yönlerini giderebilmek, daha hafif, yalıtımlı, ekonomik ve kullanışlı betonlar elde etmek amacıyla, üstünlükleri yüksek farklı yapı malzemeleri araştırılmaktadır. Çekme dayanımı düşük betonun olumsuz özelliklerini iyileştirmek için yapılan uygulamalardan biri de beton karışımına çeşitli lifler ilave etmektir. Bitkisel atıkların tekrar ekonomiye kazandırılmasında kenevir sapı atıkları önemli yer tutmaktadır. Bu nedenle söz konusu malzemelerin yeniden kazanımı ya da dönüştürülmesi oldukça önemlidir. Kenevir liflerinin beton üzerine etkilerini inceleyerek yapı malzemelerinde kullanılabilirliğini belirlemek, inşaat sektöründe yapı malzemesi olarak değerlendirilmesine yardımcı olmak ve ekolojik dengenin korunmasına katkıda bulunmak amacıyla yapılan bu çalışmada, beton içerisine katılan kenevir liflerinin taze ve sertleşmiş beton üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmada kontrol karışımı ve lif uzunlukları 4-6 cm arasında olacak şekilde hacimce %1, %2.5, %5 oranlarında kenevir lif katkılı beton örnekleri üretilmiştir. Örneklerin slump değerleri, birim hacim ağırlığı, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, su emme, donma-çözülme, ultrases geçiş hızı ve ısı iletkenlik katsayıları belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre artan lif miktarı ile birlikte birim hacim ağırlık, basınç dayanımı, ultrases ve ısı iletkenlik katsayısı azalmış, yarmada çekme dayanımları artmıştır.

Anahtar Kelimeler: Tarımsal inşaat, beton, kenevir lif, bitkisel atık

ABSTRACT

EFFECTS OF HEMP FIBERS ON DURABILITY PROPERTIES OF CONCRETE TO BE USED IN AGRICULTURAL BUILDINGS

Akıncı, Ahmet Ozan
Master's Thesis, Biosystem Engineering
Advisor: Prof. Dr. Sedat Karaman
February, 2023, ix+53 pages

Concrete is the most common construction material used worldwide. It is also commonly used in construction of agricultural buildings. With the rapid developments in technology, different building materials with superior properties are being researched in order to improve different properties of concrete and eliminate its disadvantaged aspects and to obtain lighter, insulated, more economical and useful construction materials. One of the applications to improve the negative properties of concrete with low tensile strength is to add various fibers into the concrete mixtures. Hemp stalks play an important role in recycling vegetable wastes. Therefore, it is highly significant to recycle or transform these materials. In this study, which was carried out to determine the usability of hemp fibers in concrete mixtures by examining the effects on concrete, to help them evaluate as a building material in the construction industry and to contribute to the preservation of ecological balance, the effects of hemp fibers added into concrete mixture on fresh and hardened concrete were examined. Concrete samples were supplemented with 0 (control), 1, 2.5 and 5% by volume hemp fibers with a fiber length of between 4-6 cm. slump, specific gravity, compressive strength, tensile strength, water absorption, freeze-thaw, ultrasound pulse velocity and thermal conductivity coefficients were determined. Compressive strength, specific gravity, ultrasound pulse velocity and thermal conductivity coefficients decreased, but tensile strengths increased with increasing fiber contents.

Keywords: Agricultural buildings, concrete, hemp fiber, vegetable waste

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ETİK SÖZLEŞME.....	i
JÜRİ KABUL VE ONAY	ii
ÖNSÖZ/TEŞEKKÜR	iii
ÖZET (TÜRKÇE).....	iv
ABSTRACT (İNGİLİZCE)	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ.....	viii
KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	6
2.1. Beton	6
2.2. Lifli Betonlar.....	7
2.3. Kenevir.....	11
2.4. Yapılan Çalışmalar.....	14
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	17
3.1. Materyal	17
3.1.1. Çimento.....	17
3.1.2. Kenevir.....	18
3.1.3. Agregalar.....	19
3.1.4. Su.....	19
3.1.5. Araştırmada kullanılan araç ve gereçler.....	19
3.2. Yöntem.....	20
3.2.1. Karışım oranlarının belirlenmesi ve örneklerin hazırlanması	20
3.2.2. Çökme deneyi.....	23
3.2.3. Birim hacim ağırlık deneyi	23
3.2.4. Basınç dayanımı deneyi	24
3.2.5. Yarmada çekme deneyi	25
3.2.6. Su Emme tayini	26
3.2.7. Isı iletkenlik katsayısı.....	26
3.2.8. Donma-çözülme deneyi.....	27
3.2.9. Ultrases geçiş süresi deneyi.....	27
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	28
4.1. Çökme (Slump) Deneyi	29
4.2. Birim Hacim Ağırlık	30
4.3. Basınç Dayanımı	31
4.4. Yarmada Çekme Deneyi	33
4.5. Su emme Oranı.....	34
4.6. Donma-Çözülme	36
4.7. Isı İletkenlik Katsayısı Sonuçları	39
4.8. Ultrases Geçiş Hızı.....	40
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	41
6. KAYNAKLAR	46
Yazarın Özgeçmişi.....	53

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil No	Sayfa
Şekil 3.1. Araştırmada kullanılan kenevir lifleri.....	18
Şekil 3.2. Agregaların elde edildiği taş ocağı	19
Şekil 3.3. Beton örnekleri için kullanılan karışım oranları.....	21
Şekil 3.4. Küp örneklerin genel görünümü ve kür havuzu	22
Şekil 3.5. Çökme deneyi	23
Şekil 3.6. Basınç dayanım deneyi	24
Şekil 3.7. Yarmada çekme deneyi	25
Şekil 3.8. Isıl iletkenlik katsayısının belirlenmesi	26
Şekil 3.9. Ultrases geçiş süresi deneyi.....	27
Şekil 4.1. Çökme deneyi sonuçları	29
Şekil 4.2. Örneklerin birim hacim ağırlıkları.....	30
Şekil 4.3. Basınç dayanımı sonuçları.....	31
Şekil 4.4. Basınç dayanımı ve birim ağırlık ilişkisi.....	32
Şekil 4.5. Yarmada çekme dayanımı deney sonuçları	33
Şekil 4.6. Su emme oranları.....	34
Şekil 4.7. Su emme ve birim ağırlık ilişkisi.....	35
Şekil 4.8. Donma-çözülme deneyi uygulanan örneklerin basınç dayanımı, su emme ve ağırlık kaybı değişimleri.....	38
Şekil 4.9. Donma-çözülme öncesi ve sonrası beton örneklerinin durumu	39
Şekil 4.10. Isıl geçirgenlik katsayısı değerleri.....	39
Şekil 4.11. Okunan en yüksek ortalama μ_s değerleri	40

TABLolar LİSTESİ

Tablo No	Sayfa
Tablo 3.1. Araştırmada kullanılan çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri	17
Tablo 3.2. Kenevir lifinin fiziksel özellikleri	18
Tablo 4.1. Taze ve sertleşmiş beton deneyi sonuçları	28
Tablo 4.2. Birim hacim ağırlık (kg/m^3) ve basınç dayanımı (MPa) değişkeninin regresyon analizi	32
Tablo 4.3. Birim hacim ağırlık (kg/m^3) ve su emme oranı (%) değişkeninin regresyon analizi	35

KISALTMALAR

MPa	:	Mega Pascal
TS	:	Türk Standardı
EN	:	Europeane Norm
ISO	:	International Organization for Standardization
kN	:	Kilonewton
fc	:	Basınç Dayanım Değeri
F	:	Örneğin Kırılma Sırasında Ulaşılan Enerji Değeri
Ac	:	Örneğin Basınca Tabi Tutulan Kesit Alanı
Wd	:	Örneğin Suya Doygun Durumda Havadaki Ağırlığı
W0	:	Örneğin 24 saat 105±5 °C’da Kurutulmuş Ağırlığı
W/Mk	:	Isı İletkenlik Katsayısı
UPV	:	Ultrases Geçiş Hızı

1. GİRİŞ

Artan nüfusa bağılı olarak, tarımsal faaliyetler sonucu elde edilen ürünlere duyulan gereksinim giderek artmaktadır. Tarımsal faaliyetlerin bu gereksinimleri uygun şekilde karşılayabilmesi ve fonksiyonlarını yerine getirebilmeleri, tarım işletmelerinde çeşitli amaçlar için kullanılan konut, depo, koruma yapıları, hayvan barınakları ve ürün değerlendirme tesisleri gibi tarımsal yapıların uygun şekilde planlanması ile olasıdır. Bu yapıların bölge çevre koşulları, işletme tipi ve yapım amacı gibi etmenlerin yanı sıra, inşaları sırasında kullanılan yapı malzemeleri uygun şekilde tanınmalı ve araştırılmalıdır. Fazla yük taşımayan, genellikle tek veya iki katlı olan ve tarım işletmelerinde toplam sermayenin önemli bölümünü oluşturan tarımsal yapıların olanaklar ölçüsünde ucuz inşa edilmeleri gerekmektedir. Malzemenin inşa yerine yakın, istenilen nitelik ve miktarda ucuz üretimi, yeterli dayanım ve dayanıklılığa sahip, güvenli ve en uygun çevre koşullarını sağlayacak malzemelerin seçimi planlaması bakımından oldukça önemlidir.

İnsanlar, varoluşundan bu yana yaşam kalitesini artırmak amacıyla sürekli gelişim ve değişim içerisinde olmuş, gereksinimlerini karşılamak için yeni arayışlara yönelmişlerdir. Bu amaçla ilk çağlardan beri doğadaki malzemeler üzerinde çeşitli tasarımlar yapılarak daha efektif kullanımlar elde edilmiştir. Günümüzde tüm teknik alanlarda olduğu gibi malzeme teknolojileri alanında da insanların gereksinim ve istekleri, malzemelerde yaşanan problemlere paralel olarak her geçen gün artmaktadır. Bu tür problemleri azaltmak ve talepleri karşılamak amacıyla araştırmacılar yeni malzeme türleri ve uygulamaları üzerinde çalışmakta, yeni tasarımlar ortaya koymaktadırlar (Aydın, 2011).

Yapı malzemelerinin bir kısmı doğal olarak elde edilmekte, bir kısmı da yapay olarak üretilmektedir. Ham maddelerin üretilme yöntemlerini, fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerini bilmek ona göre yapıda en uygun yerde ve şekilde kullanmak, özenle seçilmiş yapı malzemelerinin kullanılmasıyla olanaklıdır. İnşaat malzemelerinin seçiminde; malzemenin yapısı, dış etkenlere dayanıklılığı, kullanım kolaylığı, sağlamlığı, sertliği, ısı iletimi, kolay işlenebilmesi, ekonomikliği ve kullanım yerinde bulunabilmesi gibi özelliklerin etkisi büyüktür (Karaman, 2007).

Çağımızın en önemli yapı malzemesi olan, inşaat sektörü ve yapı teknolojileri arasında en yaygın taşıyıcı eleman olarak kullanılan beton; çimento, agrega, su ve gerektiğinde katkı maddelerinin belirli oranlarda karıştırılmasıyla elde edilen ve belirli süreç sonunda sertleşerek yüksek dayanım kazanan kompozit yapı malzemesidir. Betonun kalitesi, onu oluşturan malzemelerin özelliklerine ve üretim şekline bağlıdır. Diğer yapı malzemeleri ile karşılaştırıldığında kendisini oluşturan ham maddelerin doğada bol miktarda bulunmasının, ucuz elde edilmesinin, kolay şekil verilebilmesinin yanı sıra dayanım, dayanıklılık, yapım ve bakım kolaylığı gibi üstünlüklere de sahip olan beton, üretimden uygulamaya kadar her aşamada dikkat ve titizlik gerektiren temel yapı malzemesidir (Kaya, 2016).

Yapı malzemeleri arasında dünyada en fazla kullanılan beton, tarımsal yapılarda da en çok karşılaşılan malzemelerin başında gelmektedir. Diğer yapı malzemelerine göre değişen servis yüklerine göre artabilen yüksek basınç dayanımı, durabilite, sertlik, istenilen şekli verebilme açısından esneklik, üretim kolaylığı ve ekonomi gibi çeşitli üstünlüklere sahiptir. Betonun bazı özellikleri karşılaştırıldığında çekme ve eğilme dayanımının, basınç dayanımına göre çok düşük olduğu gözlenmektedir. Kırılmada düşük süneklik ve düşük çekme dayanımı, ağırlığı ve gevrek davranışı gibi olumsuz özellikleri nedeniyle çelik donatıları ile güçlendirilmektedir. Teknolojideki hızlı gelişmelerle birlikte betonun farklı özelliklerini iyileştirerek sakıncalı yönlerini giderebilmek, daha hafif, yalıtımlı, ekonomik ve kullanışlı betonlar elde etmek amacıyla üstünlükleri yüksek, farklı yapı malzemeleri araştırılmaktadır. Betonun söz konusu olumsuz özelliklerini iyileştirmek için yapılan uygulamalardan biri de, beton karışımına çeşitli sentetik veya doğal lifler ilave etmektir.

Binlerce yıldır yapı malzemesi olarak kullanılan betonu oluşturan malzemelerin uygun şekilde değiştirilebilmesi ile mekanik ve dayanıklılık özelliklerinde iyileşmeler yapılabilmektedir. Beton bütünlüğünün sağlanması ve fiziksel dayanımı artırmada uygulanan en pratik yol, beton harcına lifli malzemeler eklemektir. Lifli beton; çimento, agrega, su ve liflerin belirli oranlarda karıştırılmasıyla elde edilen beton olarak tanımlanmaktadır. Yapılan çalışmalarda lifli betonlarda beton ve harcın mekanik özellikleri ile çekme yükü taşıma kapasitesinde önemli artış olduğunu belirlenmiştir. Kendi başına kırılğan olan beton, lifli malzemelerle esnek özellik kazanmakta ve çatlamadan daha fazla yükü bünyesinde taşıyabilmektedir. Lifli betonun kırılma sırasında enerji yutma kapasitesi, lifsiz betona göre daha fazla olmaktadır. Geleneksel beton karışımına çeşitli liflerin ilave edilmesi ile betonun üzerine aldığı yükten sonra oluşan gerilmeleri karşılamakta, içten veya dıştan gelen şekil değiştirici kuvvetleri bünyesine aktararak, çimento matrisinde oluşan çatlakların kontrolsüz şekilde ilerlemesi engelleyerek eğilme dayanımlarını artırmaktadır. Ayrıca, kırılmadan darbeye dayanma yeteneğini yani tokluğunu sağlamaktadırlar. Diğer yandan ekonomik olması, yapı elemanlarının daha hafif üretilebilmesi, ses ve ısı yalıtımı sağlaması, büzülme çatlağı oluşma riskinin azalması, yüzey aşınma direnci ile donma-çözülme dayanımının artması, rötre, ufalanma-tozuma, pullanma ile paslanmayı önlemesi, yüksek alkali, süneklik, yorulma, darbe ve dayanıklılığı artırması gibi olumlu yönleri bulunmaktadır (ACI Committee 544, 1982; Babu ve Kumar, 2004; Açikel ve ark., 2005; Kurt, 2006; Atashafrazeh, 2013; Cengiz, 2015; Ağaoğlu, 2018; Mujadidi, 2020; Yazıcı, 2022).

Günümüzde yaygın kullanılan çeşitli özelliklerde lifler bulunmaktadır. Liflerle güçlendirilmiş beton; çelik lifler, doğal lifler, yapay lifler gibi malzemelerin betona eklenmesiyle elde edilen, yapısal dayanıklılığı artırılmış betondur (Akkaş ve ark., 2010). Beton karışımına çeşitli özelliklerdeki liflerin ilave edilmesi ile elde edilen betonlara “Lif Takviyeli Beton” adı verilmektedir (Aslan, 2020).

Kırsal alanda bol miktarda bulunan bitkisel artıkların değerlendirilmesiyle, malzemelerin ucuz üretimi ve daha kaliteli tarımsal yapıların inşası olanaklı duruma gelebilmektedir. Böylece kırsal alanda yaşam standartlarının iyileştirilmesi bakımından, uygun nitelikte ve düşük maliyetli yapıların oluşturulması sağlanabilmektedir (Karaman ve ark., 2006). Bitkisel artıkların hafiflik, yüksek yalıtım, donma, aşınma, kimyasal etkilere karşı yüksek direnç, yeterli basınç ve çekme dayanımı, buhar difüzyon direnci, su ve nemden etkilenmemesi, sıva tutma, işlenebilirlik, uzun ömür, ucuzluk vb. özelliklere sahip olmaları aranan niteliklerdir. Bu artıkların çeşitli alanlarda değerlendirilmesi, ekolojik dengenin sağlanması, çevre sorunlarını ortadan kaldırması, daha hafif ve dayanımlı beton üretiminin yapılabilmesi gibi pek çok yararın yanı sıra, üretilen betonun maliyetini düşürmesi nedeniyle ülke ekonomisine de girdi sağlanacaktır. Bu amaçla bitkisel artıkların yapı malzemesi olarak kullanılabilirliği ve yeniden kazanımı konusunda araştırmalar son yıllarda artarak devam etmektedir.

Karbon emisyonlarının artması ile iklim değişikliği ve küresel ısınmanın etkilerinin en aza indirilebilmesi amacıyla yapılan çalışmalardan birisi de, yenilenebilir ve karbon tutmada da etkili olan bitkisel yapı malzemeleridir. Dünyanın sürdürülebilir ekonomik büyümesi ve insanların yaşam konforunun iyileştirilmesi, yeşil malzemeler olarak adlandırılan endüstriyel artıkların kullanılmasıyla gerçekleştirilmektedir. Bitkisel katkılı betonlar; genellikle pirinç kabuğu, saman balyası, kenevir, kenaf, mantar vb. tarımsal kaynaklı biyokütle kullanılarak oluşturulmaktadır. Kenevir betonu bu araştırmaların en önemlilerinden biridir. Kenevirin geri dönüştürülebilir, yenilenebilir ve zamanla bozulmayan malzeme olmasından dolayı kenevir betonu, inşaatçılar tarafından daha fazla önerilmektedir. Yapılan çalışmalarla kenevir betonundan yapılan duvarların, kışın iyi bir iç hava kalitesi ve enerji tasarrufu sağlayabileceği belirlenmiştir (Tran Le ve ark., 2009; Jami ve ark., 2019).

Sıkı yapılı liflere oranla hafiflik, yüksek dayanım, su emme özelliğine sahip olan ve geçmişten bu zamana kadar çok çeşitli alanlarda kullanılan lif ve yağlı tohum kaynağı endüstriyel kenevire (*Cannabis sativa L.*) karşı son yıllarda dünya genelinde ilgi artmakta olup, pek çok yerde ekimi yapılmaktadır. Az miktarda teknik girdi gerektiren yüksek verimli kenevirin, diğer endüstri bitkilerine göre daha az maliyetle üretilebilmesi, çevre dostu olması ve kullanım alanlarının daha fazla olması alternatif tarım ürünü olarak ön plana çıkmasını sağlamaktadır. Bitkisel atıkların tekrar ekonomiye kazandırılmasında kenevir sapı atıkları önemli yer tutmaktadır. Bu nedenle söz konusu malzemelerin yeniden kazanımı ya da dönüştürülmesi oldukça önemlidir. Son yıllarda ülkemizde de ekimi ve kullanımı belirli koşullar altında serbest bırakılan kenevir, lifli yapısı da göz önünde bulundurulduğunda betonun içerisinde kullanılabilecek malzeme olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu araştırmanın yapılmasındaki amaç kenevirin beton üzerine etkilerini belirleyerek yapı malzemelerinde kullanılabilirliğini belirlemek, inşaat sektöründe yapı malzemesi olarak değerlendirilmesine yardımcı olmak ve ekolojik dengenin korunmasına katkıda bulunmaktır. Çalışmada, kenevirin beton içerisine ilave edilerek değerlendirilmesiyle, taze ve sertleşmiş betonun mekanik ve fiziksel özelliklerinin geliştirilmesi hedeflenmiştir.

Çalışma beş bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümü oluşturan giriş bölümünde konunun önemi ve çalışmanın amacı belirtilmiştir. İkinci bölüm olan literatür özeti bölümünde konuya ilişkin kaynaklar gözden geçirilmiştir. Araştırmada kullanılan materyal ve araştırma materyallerine uygulanan deney yöntemleri üçüncü bölümde, araştırmadan elde edilen sonuçlar ve elde edilen sonuçların literatür ışığı altında değerlendirilmesinin yapılarak tartışılması dördüncü bölümde, sonuç ve öneriler beşinci bölümde verilmiştir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

2.1. Beton

Beton; geçmişten günümüze oldukça sık kullanılan, agrega, çimento, su ve gerektiğinde eklenen katkı malzemelerinin belirli oranlardaki karışımından oluşan başlangıçta plastik kıvamda olup zamanla çimentonun hidratasyonu ile katılaşp, istenilen şekli alarak sertleşen kompozit yapı malzemesidir. Çimento; kum ve iri agregaları birbirine bağlamakta, kum; iri agrega taneleri arasındaki boşlukları doldurarak beton kompasitesini artırmakta, iri agrega; betonda iskelet görevi yaparak dış kuvvetlere karşı koymaktadır (Ekmekyapar ve Örüng, 2001; Kaya, 2016; Maraşlı, 2019). Betonun dayanım, sağlamlık ve diğer özellikleri, karışımdaki malzemelerin oranına, karışım şekline, sıkıştırma yöntemine ve kürüne bağlıdır (Postacıoğlu, 1987; Tutmaz, 2009).

Betonun en önemli yararları; istenen şeklin verilebilmesi, esneklik ve değişen yüklere göre artabilen dayanım, durabilite, üretim kolaylığı ve ekonomi, agreganın kolay bulunabilmesi, çelik donatıyla birlikte betonarmede kullanılabilmesi, yapım kolaylığı, dış etkilere dayanıklılığı, yangına karşı güvenilirliği, betonla istenilen boyutta yekpare yapı kısımların yapılabilmesi, yapı alanından ekonomi sağlanması, gerekli önlemler alınarak su içinde yapı elemanlarının yapımına olanak vermesi, hafif agregalarla hafifletilebilmesi, çeşitli katkı ve donatılarla istenilen özelliğin verilebilmesi, kalıba rahat uygulanabilmesi, çeşitli yapı malzemeleriyle kaplanabilmesi şeklinde sıralanabilir. Bununla birlikte betonun ağırlığı, düşük çekme dayanımı ve gevrek davranışı, çok yüksek sıcaklığa dayanamaması ve gerekli önlemler alınmadığında ses, ısı ve nemi iletmesi, sökülüp tekrar kullanılma özelliğinin olmaması, onarılmasının zor ve olanaksızlığı gibi sakıncalı yönleri bulunmaktadır (Ekmekyapar ve Örüng, 2001; Cengiz, 2015; Yalçiner, 2020). Sonuç olarak beton, basınç dayanımı yönünden yüksek performans göstermesine karşın yapı elemanlarında çekme, burulma, titreşim ve darbe yüklerine karşı dayanıklılığının düşük olması yanı sıra, süneklik ve çekme dayanımı eksikliğini telafi etmek için çelik donatı çubukları ile güçlendirilmektedir (Cengiz, 2015; Ağaoğlu, 2018; Yalçiner, 2020).

Basınç, eğilme, çekme ve yorulma dayanımı, gerilme birim deformasyon ilişkisi, elastiklik modülü, Poisson oranı, ısısal genleşme katsayısı, rötre, sabit yükler altında sünme ve yoğunluk betonda aranan temel özelliklerdir (Erdoğan, 2003). Ayrıca ısı ve ses iletkenliği de beton özellikleri açısından önemlidir. İyi bir betonun ısı ve ses iletimi düşük olmalıdır. Betonun ısı iletimi, içerdiği çimento miktarının artmasıyla ve düşük ısı iletkenliğine sahip agrega kullanılmasıyla azaltılabilmektedir (Uysal ve ark., 2004).

Malzemenin karılmasıyla elde edilen plastik durumdan ve akıcılığının kimyasal reaksiyon nedeniyle giderek azalıp katılaşmaya başladığı zamana kadarki haline taze beton denilmektedir (Erdoğan, 2003). Taze betonda aranan en önemli özellikler; işlenebilirlik, birim ağırlık ve hava miktarıdır (Ekmekyapar ve Örüng, 2001). Dayanımını kısmen de olsa kazanmış ve betonun katılaşma olayından sonraki aşamadaki durumu, sertleşmiş beton olarak anılmaktadır. Ancak sertleşmiş beton denildiğinde, 28 günlük veya daha yaşlı betonlar anlaşılmaktadır (Ekmekyapar ve Örüng, 2001; Erdoğan, 2003).

2.2. Lifli Betonlar

Yapı alanının en önemli parçalarından olan betonun fiziksel ve mekanik özelliklerini geliştirmek amacıyla geçmişte yapılan çalışmalar, günümüzde de devam etmektedir. Yapılan çalışmaların ana konularından birini de, beton karışımına farklı özelliklerde liflerin takviye edilmesi ile oluşan lif katkılı betonlar oluşturmaktadır (Aslan, 2020).

Geniş kullanım alanına sahip olan ve kırılğan kompozit olarak bilinen betonun olumsuz özelliklerini iyileştirebilmek amacıyla pek çok çalışma yapılmış, daha etkin ve verimli olarak değişik alanlarda kullanım gereksinimi, beton teknolojisinde yeni gelişmelerin oluşmasına neden olmuştur. Beton teknolojisindeki en önemli gelişmelerden biri de geleneksel betonun enerji yutma kapasitesi, deformasyon yeteneği, çekme, yorulma, kaviteasyon, kayma, çatlama sonrası yük taşıma dayanımları gibi zayıf özelliklerini olumlu yönde değiştirerek iyileştirilmesi ve güçlendirilmesi için beton karışımına çeşitli yöntemlerle değişik miktarlarda, belirli boy/çap (narinlik oranı) oranlarında polimerik, mineral veya doğal yapıda rastgele dağılmış liflerle elde edilen lif katkılı (frc) betonlardır (ACI Committee 544, 1982; Kurt, 2006; Açıkgenç ve ark., 2012; Kozak, 2013).

Lifli beton; nispeten yüksek gerilme dayanımına sahip doğal veya yapay küçük liflerin normal beton içerisine rastgele dağılımını içeren matristen oluşan, narinliği yüksek beton çeşididir (ACI Commitee 544, 1989; Atashafrzeh, 2013). Liflerle donatılı kompozit malzeme, yeterli basınç dayanımına oranla çekme, eğilme, çarpma dayanımları çok düşük düzeyde kalan veya zayıf yapılı, kırılğan malzemenin zayıf yönlerinin iyileştirilmesi, kırılğanlığın giderilmesi, malzemenin sünekleştirilmesi gibi amaçlarla, bu özellikleri iyileştirecek nitelikte liflerle donatılmasıyla üretilen kompozitlerdir (Kurt, 2006).

Belirli oranlarda kullanılan ve beton içerisinde homojen dağılan lifler mekanik özellikleri iyileştirmek amacıyla kullanılmaktadır. Beton içerisine katılan lifler; betonun üzerine aldığı yük nedeniyle oluşan gerilmeleri karşılamakta, çatlamasını engelleyerek eğilme dayanımlarını artırmaktadırlar. Betonda lifler kullanıldığında normal betona oranla yüksek çekme dayanımları sayesinde betondaki mikro ve makro çatlakların oluşmasını, ani yayılmasını, birleşmesini ve gevrek kırılmayı önlenmekte, çatlakların beton içerisindeki ilerlemesini yavaşlatarak beton daha sünek ve dayanıklı hale gelmekte, çekme, darbe, donma-çözülme, yangın, yüksek alkali dayanımları ile enerji tüketim kapasitesi istenildiği şekilde iyileştirilebilmekte, kırılmadan darbeye dayanma yeteneği yani tokluğu ile çarpma ve yüzey aşınma direnci artırılmakta, oluşan deformasyon altında yük taşıyabilmesinin sağlanması, enerji yutma kapasitesi ve uzun dönem dayanımı artırılmaktadır (Sahmaran ve ark., 2005; Ünal ve ark., 2007; Yıldız ve Ulucan, 2008; Atashafrzeh, 2013; Ali, 2017; Yazıcı, 2022; Maraşlı, 2019).

Betonu liflerle güçlendirmek, kırılğan betonun liflerle donatılarak istenilen oranda esnek hale getirilmesidir (Akkaş ve ark., 2010). Betonun fiziksel dayanımını zorlayan kuvvetler kırılğan yapıyı çatlatmaya başlayacaktır. Yeterli miktarlarda ve amacına uygun kullanılan lifler, betonda oluşabilecek çatlaklardaki gerilmeleri çatlak oluşmamış bölgelere iletmektedir. Lifler çatlak sonlarına bitişik olduklarından, matristeki gerilmelerin üzerlerinden geçmesini ve böylece, daha önce çatlamamış beton kesitlerinin de dayanımından yararlanılmasını sağlamaktadır (Özyurt ve ark., 2006). Betonun fiziksel dayanımını zorlayan kuvvetler kırılğan yapıyı çatlatarak beton içerisinde ilerlerken, çatlağın gerilme enerjisi liflere aktarılmakta ve lifler tarafından karşılanmaya başlanmaktadır (Akkaş ve ark., 2010; Cengiz, 2015).

Lifli beton üstünlükleri; büzülme çatlağı oluşma riskinin azalması, yüzey aşınma direncini artırması, rötre ve kılcal çatlakları önlemesi, su geçirimsizliğini artırması, ufalanma, tozuma ve pullanma oluşumunu önlemesi, donma-çözülme dayanımını artırması, kılcal çatlak gelişimini engellemesi, sünek davranış göstermesi, paslanmaz yüksek alkali dayanımı sağlaması, prekast uygulamalarında plastik, termal, çökme ve ayrışma çatlaklarına karşı yüksek dayanım sağlaması, beton taşıyıcı sistemleri için yangın dayanımı sağlaması şeklinde sıralanmaktadır (Atashafrazeh, 2013). Ayrıca betonarme elemanlarda donatı oranları azaltılarak yapı maliyeti de düşürülmektedir (Karahana, 2006). Doğal ve geri dönüştürülebilir malzemeler olan lifler kullanıldığında karbon salınımı az olacağından, çevre zarar görmemiş olacaktır. Geri dönüştürülebilir malzemeler sayesinde yeni bir yapı ürününe gerek kalmayacaktır (Karşin, 2022).

Lifli betonlarda sağlanması gereken en önemli özellik, liflerin homojen dağılımı ve bu dağılımın beton karıştırıldıktan sonra bozulmamasıdır. Liflerin yaygın kullanılmasını engelleyen sorunlardan biri, liflerin betondaki dağılımının rastgele olmasıdır. Araştırmalar, liflerden elde edilen performansın lif dağılımı ile doğrudan bağlantılı olduğunu göstermiştir (Özyurt ve ark., 2006). Liflerin homojen dağılımını engelleyen etkenlerden biri olan agrega en büyük tane boyutunun artması lif dağılımını olumsuz etkilemekte ve lif süreksizliğini artırmaktadır (Baradan ve ark., 2012).

Lifler; matrsten önemli ölçüde daha sert yani matrsten daha yüksek elastisite modülüne, iyi lif-matris bağına, uygun lif geometrisine, yeterli lif uzunluğuna, betona uygun lif yüzey özelliklerine, yeterli hacimde lif içeriğine ve uygun yükleme hızı karışım yapmasına sahip olmalı, liflerin yönlenmesi tüm yönlerde benzer olmalı, liflerin durabilitesi ve uzun süreli etkisi araştırılmış olmalıdır (Maraşlı, 2019).

Lifler; metaller, mineraller, bitkiler ve polimerler gibi farklı malzemelerden doğal ve sentetik olmak üzere iki grupta, farklı tip ve boyutlarda üretilmektedirler. Beton içerisinde yaygın kullanılan lifler; cam, çelik, akrilik, aramid, karbon, naylon, polyester, polietilen, polipropilen, Yüksek Moleküler Ağırlıklı Polietilen (HDPE), PVA ve bazalt gibi metal ve sentetik lifler yanında ağaç selülozu, hindistan cevizi, şeker kamışı küspesi, bambu, jüt, ağaç ve sebze lifleridir (Maraşlı, 2019).

Çelik lifler; çatıda kullanılan gözenekli betonlar, kaldırım, köprü, ateşe dayanıklı malzemeler, beton borular, rüzgâra dayanıklı yapılar, tünel kaplamaları ve gemi omurgalarında kullanılmaktadır. Polipropilen naylon lifler; temel kazıkları ve öngermeli kazıklar, kaplama panelleri, yürüyüş yolları, marina iskele elemanları, yol yamaları, sualtı borularının kaplamalarında kullanılmaktadır. Karbon lifler; şekilli çatı kaplama elemanları, ince membran yapıları, tekne omurgaları ve yapı iskelesi tahtalarında kullanılmaktadır. Mika lifler ise; çimento esaslı levhalar, kısmen asbest yerine beton borular ve onarım malzemelerinde kullanılmaktadır (Ağaoğlu, 2018).

Lifler; doğal kaynaklardan elde edilen ya da insan eliyle üretilen, düşük yoğunluğa ek olarak uzunluk, bükülebilirlik, esneklik, dayanıklılık, sertlik, korozyon, elastisite modülü ve çeşitli kimyasallara karşı dirence sahip çeşitli şekil ve boyutlarda üretilen malzemelerin en geliştirilmiş halidir. Uygulamada kullanılan doğal ve yapay lifler bulunmaktadır. Hayvansal, bitkisel, lifler, gibi doğal kaynaklardan elde edildiği biçimi ile kullanılabilen ham maddeler (talaş, yün, keten, pamuk) doğal liflerdir. Yapay lifler; polimer, metalik, seramik liflerle, aranan belirli özellikleri taşıyacak şekilde geliştirilen ve bu amaçla yerel insan gücü ve teknoloji kullanılarak üretilen (cam yünü, plastik kökenli) malzemelerdir (Aran, 1990; Acun, 2000; Ersoy, 2001; Aslan, 2020).

Bitkisel ve hayvansal liflerin farklı şekillerde yapı malzemelerinde kullanılması fikri yeni değildir. Eski mısırdaki kil malzemelerin yapı bloklarına dönüştürülmesinde saman kullanıldığı bilinmektedir (Maraşlı, 2019). Lif takviyeli kompozitlerin oluşturulmasında kullanılan en eski doğal lifler at kuyruğu, yelesi ile samandır. Geleneksel malzemelerden kerpiç ele alındığında; kil ile bitkisel liflerin kullanıldığı, alçı sıva yapımında; saman, keten, at kuyruğu, keçi kılı gibi doğal liflerin kullanıldığı görülmektedir (Acun, 2000).

Doğal lifler işlenmemiş veya işlenmiş olabilmektedir. İşlenmemiş doğal liflerden olan şeker kamışı küspesi, hindistan cevizi, bambu, sisal, jüt, ağaç ve sebze lifi gibi ürünler, birkaç ülkede test edilmiştir (Buch ve ark., 2007; Maraşlı, 2019).

Doğal liflerin beton takviye formu olarak kullanılması, geleneksel inşaat malzemelerinin çok fazla bulunamadığı ya da çok pahalı olduğu daha az gelişmiş bölgeler için özellikle önemlidir (Maraşlı, 2019).

Betonda kullanılan bitkisel liflerin ham maddesi selülozdur. Mikrolif şeklindeki selüloz zincirleri çeşitli dizilerde birleşip liflerin yapısını oluşturmaktadır. Lifler veya hücreler, çimentodaki alkaline karşı yapılarının bozulmaması için bitkideki lignin tarafından birleştirilmektedir (Coutts and Ridikas, 1982; Açikel ve ark., 2005).

2.3. Kenevir

Yapı malzemelerinde katkı malzemesi olarak yüz yılı aşkın süredir kullanılan kenevirin anavatanı Orta Asya'dır. Endüstriyel olarak ve lif üretiminde kullanılan türü Cannabis Sativa'dır (Rashid ve ark., 2017; Aksoy ve ark., 2019). Isı iletim katsayısı 0.038-0.060W/mK yoğunluğu 20-90 kg/m³, özgül ısısı 1.6-1.7 kJ/kgK ve su emme değeri %85-105 arasındadır (Li ve ark., 2006; Arslan ve Aktaş, 2018). Doğal selüloz lifi olmasına karşın kenevir lifi, pamuktan farklı olarak önemli miktarda hemiselüloz, lignin ve pektin içermektedir (Özdemir, 2019). Lif hücreleri kabuk kısmında demetler halinde olup, her lif demetinde 30-50 lif hücresi bulunmaktadır. Her lif hücresi 20-35 mikron inceliğe sahiptir ve doğadaki en dayanıklı malzemelerden biri olarak kabul edilmektedir (Gedik ve ark., 2010). Endüstriyel amaçla kullanılan kenevir, kenevirin sanayi amaçlı kullanımını içeren ve Cannabis indica türüne oranla çok düşük miktarda THC (tetra hidro kannabinol) içermesi ve daha fazla lif üretmesi için özel olarak ıslah edilmiştir (Aksoy ve ark., 2019). Endüstriyel tip kenevirlerde THC oranının üst sınırı Avrupa Birliği için %0.2 ve Kanada için %0.3 olmalıdır (Kaynak, 2022).

Kenevir sapları sert, otsu yapıya sahip olup beyaz odun kısmını, yeşil kabuk sarmıştır. Yetiştği çevreye ve çeşidine bağlı olarak çapı 4-20 mm, uzunluğu ise 1-6 m arasında değişebilmektedir. İlk gelişme döneminde usareli olan kenevir sapları, yaşlandıkça odunlaşmaktadır. Kenevir sapı, sayısı 9-11 arasında bulunan boğum ve boğum aralarından oluşmuştur (Gizlenci ve ark., 2019).

Kenevir günümüz koşullarında çeşitli alanlarda kullanılabilen endüstri bitkisidir. Kenevirin önemi ve kullanımı yakın zamanlar göz önüne alındığında gittikçe yaygınlaşması sonucu, kullanım alanları çeşitlenmiş ve sanayide kenevire dayalı alanlarda birçok imalat kalemleri oluşmuştur. Kenevir odaklı gelişme gösteren sanayi alanları; gıda, inşaat, tekstil, ilaç, kâğıt, yakıt (bio yakıt), sabun, otomotiv, petrol ve petrokimya, kompozit malzemeler ve kozmetik ürünlerdir. Bu alanların oluşması ile kenevir tarımında ve ekim alanlarında da gelişmeler ve artışlar ortaya çıkmaktadır (Özdemir, 2019; Yılmaz ve ark., 2022).

Endüstriyel kenevir lif, sap ve lif + sap olarak kullanılabilmektedir. Her bir bölümünden farklı ürünler üretildiği gibi, birbirleriyle karıştırılarak da elde edilebilmektedir. Kenevir lifinden üretilen bazı ürünler; tekstil, teknik tekstil, biyo kompozitler ve jeo tekstil gibi endüstriyel ürünlerin yeni kullanım alanlarıdır. Kenevir sapının tamamı (lif+sap) kullanılarak elde edilen ürünler, daha çok kâğıt ve enerji ürünleridir (Kaynak, 2022). Kenevir sapından üretilen ürünlerin en önemlileri, ısı yalıtım plakaları ve duvar bloklarıdır (Gizlenci ve ark., 2019).

Kenevir lifi, öncelikle daha uzun kullanım süresine olanak tanıyan biyolojik bozunabilirlik, düşük ısı iletim katsayısı ve çevreyle ilgili olumlu özellikleri sebebiyle ısı yalıtım malzemesi olarak etkisini kanıtlamıştır. Kenevir günümüz inşaatlarında kullanılan petrol türevi ısı yalıtım yapı malzemeleri yerine, yalıtım malzemesi olarak ta kullanılabilmektedir. Doğal ve sağlıklı olması yanı sıra uzun ömürlüdür. Dayanıklılık ve dayanım yönünden mevcut yalıtım malzemelerine oranla daha üstündür. Uluslararası yangın standartlarına sahip olduğundan, her tip yapı için kullanılabilmektedir (Kaynak, 2022).

Kenevir; termal kapasitesinin farklı yalıtım malzemelerine göre daha yüksek olması, konveksiyon oluşmaması, dayanıklı ve bakıma gereksinim duymaması, yüksek elastisite modülü, çekme dayanımı, emicilik ve iyi elektrostatik özellikleri, UV koruma sağlama ve anti alerjik özellikleri, zamanla tozuma yoluyla erimemesi, alev yürümez malzeme olması yanı sıra elektriğe dayanıklılığı, termal performansa zarar vermeden nemi emip bırakma özelliği, akustik etkisinin iyi olması ve hacimler arası ses geçişini engellemesi, uçucu organik bileşenler, toksinler ve havadaki nemi emmesi, doğa dostu olması, sürdürülebilirliği, kış ve yaz aylarında yüksek termal kapasite ve enerji verimliliği, bütün yönlerde esnekliği, kolay kesilip şekil verilebilirliği, çürümeye dayanıklılığı, mikroorganizma ve haşere barındırmaması gibi olumlu yönleri bulunmaktadır (Aslan, 2020; Gedik, 2012; Kaynak, 2022).

Organik yalıtım malzemelerinden olan kenevirin tamamen yenilenebilir bitkisel kaynaklardan elde edilmesi, düşük oluşum enerjisine sahip olması, geri dönüştürülebilir, doğada ayrışabilir ve insan sağlığı açısından olumlu olması ve zehirli atık içermemesi nedeniyle sürdürülebilir malzemedir (Kaynak, 2022). Kenevirin daha çevreci olması, diğer endüstri bitkilerine oranla daha az maliyetle üretilebilmesi ve kullanım alanlarının daha fazla olması, alternatif tarım ürünü olarak ön plana çıkmasını sağlamaktadır (Aydoğan ve ark., 2020).

Doğal yapı malzemesi olarak kenevir, geleneksel yapı malzemelerine oranla birçok yönden daha iyi performans göstermekte, mevcut yapı standartlarının karşı karşıya olduğu çeşitli sorunlara çözümler sunmaktadır. Nem düzenleyici, ısı yalıtımı, atık geri dönüşümü, yangından korunma özellikleri yanı sıra, hafiflik, küf direnci, nefes alabilirliği, kenevir ürünlerini çok yönlü hale getirmektedir. Kenevir, öncelikle çevre üzerindeki olumlu etkilerinden dolayı, bina tasarımının yeşil kategorisi altında sınıflandırılmaktadır. Geleneksel yapı malzemesiyle karşılaştırıldığında daha iyi tasarım esnekliğine sahiptir, bu da yapısal tasarımın şekil ile sınırlı olmadığı anlamına gelmektedir (Zuo, 2014; Karsin, 2022).

2.4. Yapılan Çalışmalar

Karşin (2022), beton içerisine farklı oranlarda (%0.25, %0.50, %0.75) katılan kenevir liflerin taze ve sertleşmiş beton üzerindeki etkilerini inceledikleri çalışmada; lif miktarı arttıkça betonun işlenebilirlik özelliklerinin olumsuz etkilendiğini, %0.75 lif katkılı beton örneklerinin eğilme dayanımında, kontrol örneklerle kıyasla %35 artış gözlemlendiğini ifade etmiştir.

Şimşek (2021), kenevir lifi, keçi kılı ve polipropilen katkılarının %0.2, %0.4, %0.6, %0.8, %1 oranlarında katılmasıyla harçlar üzerindeki etkilerini incelemek amacı ile yapılan çalışmada, olumlu sonuçlar elde edildiği belirlenmiştir.

Bitar ve ark. (2020), takviyesiz yığma duvarların düzlem dışı eğilme kapasitesini artırmak amacıyla doğal kenevir liflerinin kullanımının etkinliğini incelemek amacıyla yaptıkları çalışmada, donatı oranının artmasıyla duvarların eğilme kapasitesi ve sünekliğinin arttığını belirlemişlerdir.

Yalçiner (2020), yaptığı çalışmada %1.0'dan yüksek oranda lif kullanılması sonucu işlenebilirliğin azaldığını, gerekli düzeye gelmesi için katkı maddesine gereksinim duyulduğunu ifade etmiştir.

Iucolano ve ark. (2019), cam lif ve kenevir lifinin 10-25 mm uzunluğunda ve ağırlıkça %1 ve %2 oranlarında kullanarak yaptıkları çalışmada, kenevir liflerinin cam liflere oranla alçı matrisine daha iyi yapışma özelliğine sahip olduğunu ve liflerin mikro çatlaklarını engelleme etkisi gösterdiği belirlenmiştir.

Çomak ve ark. (2018), farklı uzunluklarda (6 mm, 12 mm ve 18 mm) ve farklı oranlarda (%0, %1, %2, %3) kenevir lif takviyeli harç üreterek yaptıkları çalışmada, doğal kenevir lifi ile takviye edilmiş çimento harçlarında %2-3 oran ve 12 mm uzunluğun daha olumlu sonuçlar verdiği ifade etmişlerdir.

Serin ve ark. (2018), ağırlıkça %0, %0.05, %0.075, %0.1, %0.125, %0.25 oranlardaki doğal kenevir liflerinin asfalt beton karışımlara ilave edilmesi ile yaptıkları çalışmada, kenevir liflerinin bitümlü sıcak karışımların mekanik özelliklerini iyileştirdiği bildirmişlerdir.

Barnat-Hunek ve ark. (2015), kenevir-kireç kompozitinin fiziksel ve mekanik özelliklerini inceledikleri çalışmada su emme, ısı iletkenlik, basınç ve eğilme dayanımı belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlardan kenevir oranındaki artışın su emmeyi arttırdığı, ısı iletkenliği azalttığı belirlenmiştir. Sonuç olarak kenevir-kireç kompozit bileşimlerinin duvar yapımında taşıyıcı çerçevelerle kullanılabileceği vurgulanmıştır.

Sinka ve ark. (2015) tarafından yapılan çalışmada, çeşitli hidrolik katkılar kullanılarak ve farklı yöntemlerle karıştırılarak üretilen kenevir-kireç örneklerinin yoğunluk, ısı iletkenlik, basınç, eğilme ve yangın dayanımlarını belirlemişlerdir. Yapılan çalışmalar sonunda örneklerin mikser veya tambur ile karıştırmanın mekanik ve termal özelliklere çok fazla etkisinin olmadığını ifade etmişlerdir. Fazla büyük veya küçük parçaların ısı iletkenlik ve mekanik özelliklere negatif etkisinin olduğu, yangın testlerinde ise B sınıfına ulaşan kenevir-kireç kompozitinin, yalıtım malzemesi olarak kullanılabileceğinden bahsedilmiştir.

Balciunas ve ark. (2015) çimento bağlayıcı malzemeli kompozitte hafif agrega olarak kenevir lifleri ile süper akışkanlaştırıcı katkı kullanarak yaptıkları çalışmada, bileşen mineralleştiricisinin düşük içeriğinin, çimento hidrasyonunun düşüşüne neden olduğu belirlemişlerdir.

Sonebi ve ark. (2015), karışım bileşimi ve örnek boyutunun kenevir betonunun mekanik performansı ve hava koşullarına etkilerini inceledikleri çalışmada bağlayıcı içeriği, örnek boyutu ve yoğunluğunun basınç dayanımı üzerine önemli etkiye sahip olduğu görülmüştür.

Collet ve ark. (2014) kenevir betonları üzerine yaptıkları çalışmada, ısı iletkenliğin 0.09-0.16 W/mK arasında değiştiğini belirlemiştir. Elde edilen sonuçlardan, yoğunluğun ısı iletkenlik üzerindeki etkisinin nem içeriği etkisinden daha önemli olduğu belirlenmiştir.

Sinka ve ark. (2014), kenevir-kireç karışımının farklı oranlarda sıkıştırılmasının (%0, %25 ve %50) etkisini belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmada yoğunluk, ısı iletkenlik, basıncı ve eğilme dayanımı arasındaki ilişkiyi belirlemişlerdir. Sonuç olarak kenevir-kireç karışımının iyi termal özelliklere ve uygun mekanik özelliklere sahip olduğu belirlenmiştir.

Açıkel ve ark. (2005) betonda miskantus lif katkısı kullanarak yaptıkları çalışmada, %4 toz lif kullanılan kp örneklerinin dayanımının en yüksek düzeyde olduğunu ortaya koymuşlardır.

Wambua ve ark. (2003), doğal lif takviyeli polipropilen kompozitlerinin mekanik özelliklerinin test edilerek karşılaştırılması amacıyla yaptıkları çalışmada, kenevir kompozitlerin en yüksek çekme dayanımına sahip olduğunu belirlemişlerdir.

Fisher ve ark. (2001), asit etkisinde bırakılan selülozik lif takviyeli beton borunun dayanımının, betonarme boru ile karşılaştırıldığında, bitkisel lifli beton boruların malzeme özelliklerinin daha fazla etkilendiğini, ancak kendilerinden beklenen yeterli dayanım performansını gösterdiğini ifade etmişlerdir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde, kenevir lifinin tarımsal yapılarda kullanılan betonun bazı özelliklerine etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılan deneysel çalışmalarda kullanılan malzemeler tanıtılmış, bu malzemelerin özellikleri, karışım oranları, kullanılan ekipmanlar ile deneylerinin yapılışı hakkında bilgiler verilmiştir. Deney çalışmalarında Türk Standartlarına uygun deney yöntemleri ve aygıtları kullanılmıştır.

3.1. Materyal

Araştırma materyali olarak organik atık olan Samsun ili Vezirköprü ilçesinde üretilen kenevir bitkisinin sapları, normal agregası, bağlayıcı olarak çimento, karışım suyu olarak Tokat ili şebeke suyu ve bunlarla üretilen kenevir lif katkılı beton örnekleri oluşturmuştur.

3.1.1. Çimento

Çalışmada yörede en fazla kullanılan, TS EN 197-1 (2012) standardına uygun, Yurt Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş. üretimi Portland Kalkerli Çimentosu (CEM I/42.5 R) kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun fiziksel, mekanik deneyleri ile kimyasal analiz sonuçları fabrika kalite kontrol laboratuvarlarında yapılmış olup, Tablo 3.1’de verilmiştir (TS EN 196-2, 2013; Anonim, 2022). Deneylerin yapımı sırasında çimentonun nem almamasına ve kuru ortamda tutulmasına özen gösterilmiştir (Memiş ve Örüng, 2012).

Tablo 3.1. Araştırmada kullanılan çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri

Fiziksel Özellikleri	KÇS
Priz başlama süresi	≥ 60 dakika
Genleşme	$\leq \%10$ mm
2 Günlük dayanım	≥ 20.0 MPa
28 Günlük dayanım	≥ 42.5 N/mm ² ≤ 62.5 N/mm ²
Kimyasal Özellikleri	KÇS
Sülfat miktarı (SO ₃)	$\leq \%4.0$
Klorür muhtevası (Cl ⁻)	$\leq \%0.1$
Kızdırma kaybı	$\leq \%5.0$
Çözünmeyen kalıntı	$\leq \%5.0$
Yoğunluk	~ 3.00 g/cm ³

3.1.2. Kenevir

Örneklerin hazırlanmasında lif katkısı olarak kullanılan kenevir Samsun ili, Vezirköprü ilçesinde denetimli kenevir üretim yapan üreticiden elde edilmiştir (Şekil 3.1). Lifli yapıya sahip olan kenevir kabuğundaki kendir gövdeden ayrıştırılarak elde edilen lifler, doğal yollarla kurutulduktan sonra 40-60 mm uzunluğunda kesilerek hazırlanmıştır. Kenevir lifinin fiziksel özellikleri Tablo 3.2’de verilmiştir (Gedik ve ark., 2010).

Tablo 3.2. Kenevir lifinin fiziksel özellikleri

Teknik lif uzunluğu (cm)	100-300
İşlem görmüş lif uzunluğu (cm)	65-75
Kuru özgül mukavemet (cN/dtex)	35-50
Yaş özgül mukavemet (% kuru)	105
E-Modül (MPa)	12.7
Yıllık lif verimi (kg/hektar)	3000



Şekil 3.1. Araştırmada kullanılan kenevir lifleri

3.1.3. Agregalar

Tüm örneklerde, TS 706 EN 12620 (2009) standardına uygun olarak Tokat ili sınırları içerisindeki Güğümlü mevkiinden elde edilen kaba ve ince kırmataş agregalar kullanılmıştır (Şekil 3.2).

3.1.4. Su

Araştırmada örneklerin elde edilmesinde üniversite laboratuvarından sağlanan içilebilir nitelikte olan Tokat ili Merkez ilçesi şebeke suyu kullanılmıştır.

3.1.5. Araştırmada kullanılan araç ve gereçler

Çalışmada standart elek takımı, hassas terazi, etüv, kür havuzu, plastik küp beton örnek kalıpları, plastik silindirik beton örnek kalıpları, sarsma tablası, slump hunisi, hidrolik pres, plastik tokmak, şişleme çubuğu, çelik şerit metre, metal taban (tepsi), çelik mala, kalıp yağı, hava pompası, yarmada çekme deneyi basınç aygıtı, ısı iletkenlik katsayısı ölçüm aygıtı, ultrasonik test aygıtı, derin dondurucu, fırça, kürek, spatula, mala, gres yağı, cam vb. malzemeler kullanılmıştır.



Şekil 3.2. Agregaların elde edildiği taş ocağı

3.2. Yöntem

Çalışma için yapılan deneyler Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar Laboratuvarı ile Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

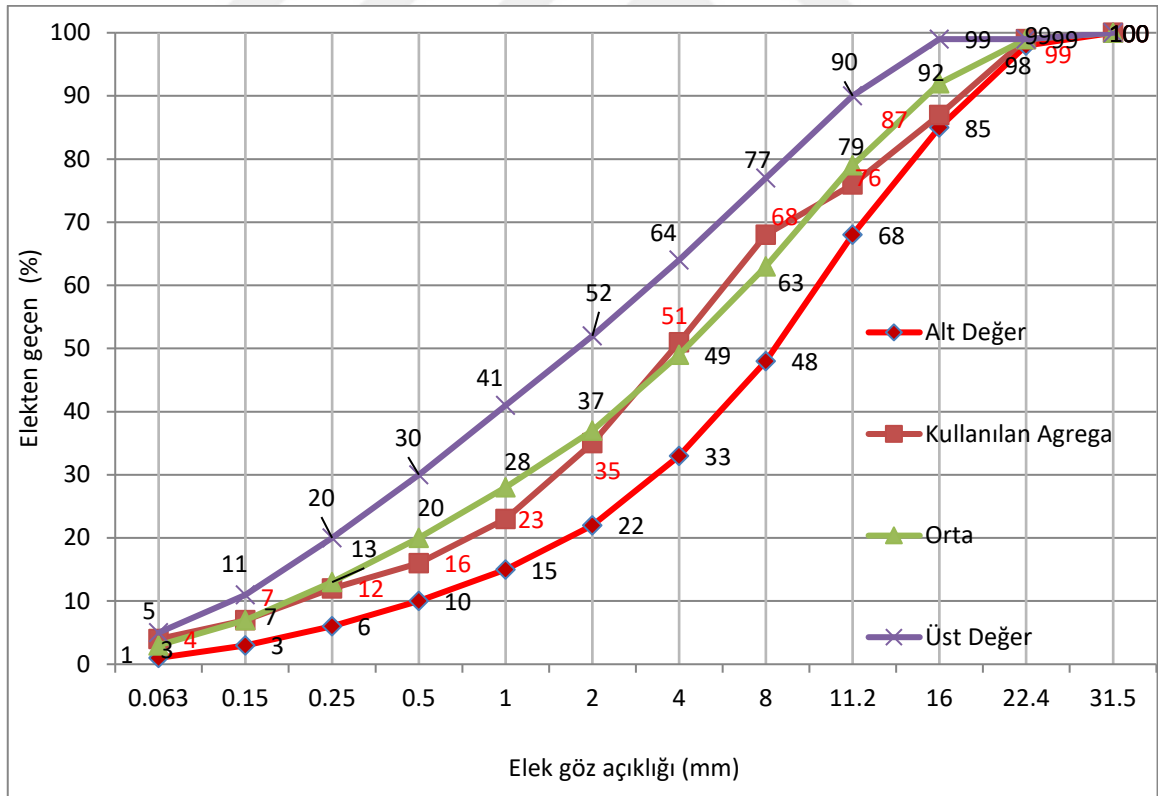
3.2.1. Karışım oranlarının belirlenmesi ve örneklerin hazırlanması

Hazırlanacak beton örneklerinde kullanılacak bileşenlerin yapısal özelliklerini tanımlamak ve karışımlarda hangi miktarlarda kullanılması gerektiğini belirlemek amacıyla, bileşenler üzerinde bazı ön deneyler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca lifli betonlar için yapılacak karışım hesapları için belirlenmiş standart bulunmadığından, karışıma girecek agrega, çimento ve lif katkılarının hangi oranlarda kullanılacağına belirlenmesinde lifli betonlar üzerinde yapılan çalışmalardan yararlanılmıştır.

Beton içerisinde lif olarak eklenen kenevir lif oranları hacim olarak belirlenmiş olup, miktarları yapılan ön denemeler sonucunda %1, %2.5 ve %5 olarak belirlenmiştir. Özkütlesi 1.4 g/cm^3 olan kenevir lifinin $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}$ küp beton örneklerinin katkı ağırlıkları; %1 için 4.72 g, %2.5 için 11.81 g ve %5 için 23.62 g olarak hesaplanmıştır (Zollo, 1997). Lif miktarları, 14 kg/m^3 , 35 kg/m^3 ve 70 kg/m^3 olarak belirlenmiştir. Karışım hesabına göre tüm malzemeler ayrı ayrı tartılıp hazırlanmıştır. Kenevir lif içeriği değiştirilerek her bir konuda üç tekerrürlü olacak şekilde kontrol örnekleri ile birlikte toplam 40 adet örnek hazırlanmıştır.

Kenevir liflerinin su emme miktarının yüksek olması, beton karışım hesabında belirlenen su miktarının yetersiz kalmasına ve dolayısıyla betonun priz ve hidratasyonunu tam olarak gerçekleştirememesine neden olacağından, beton üretiminde kullanılacak kenevir saplarından elde edilen lifler doymuş duruma gelinceye kadar su içerisinde bekletildikten sonra kullanılmıştır. Miktarları belirlenen malzemeler laboratuvar koşullarında hassas terazide tartılarak homojen olacak şekilde karıştırılmış, daha sonra suda bekletilen kenevir lifleri ve su karışıma katılarak hepsi birlikte harmanlanmıştır (Alkaya, 2010).

Liflerin beton içerisinde topaklaşmaması ve yapı elemanı en dar boyutu koşuluna uygun olduğu için agrega en büyük tane boyutu 16 mm seçilmiştir. Beton karışım hesabında kullanılacak agrega tane büyüklüğü dağılımı grafiklerinden yararlanılarak karışım oranları belirlenmiştir (TS EN 933-1, 2012). Şekil 3.3'te agrega granülometrisinin standartlarda öngörülen sınırlar içerisinde kaldığı görülmektedir. İri ve ince agregaların oranları sırasıyla %49 ve %51 olarak hesaplanıp kullanılmıştır. İri ve ince agregaların incelik modülleri sırasıyla %5.45 ve %3.63 olarak hesaplanmıştır. Deneylerde TS1227 ISO 3310-1 (2007)'ye uygun toplama kabı ile ISO 3310-2 (2015) ve TS1226 (2016)'ya uygun 0.25 mm, 0.50 mm, 1 mm, 2 mm, 4 mm, 8 mm ve 16 mm göz açıklıklı kare delikli elekler, tava ve kapaktan oluşan elek takımı kullanılmıştır.



Şekil 3.3. Beton örnekleri için kullanılan karışım oranları

Taze betonda yapılan çökme ve birim ağırlık deneylerinden başka sertleşmiş beton deneylerinin yapılması için küp örnekler hazırlanmıştır. Bu amaçla karışımı yapılan taze beton önceden yağlanan kalıplara 1/3 oranında eşit aralıklarla üç tabaka halinde döküldükten sonra, her tabaka şişleme çubuğu ile 25 kez şişlenerek yerleştirilmiş ve kalıp üst yüzeyi mala ile düzeltilmiştir (TS EN 12390-2, 2002; 12390-3, 2019; TS 3323, 2012). Elde edilen küp örneklerin genel görünümü Şekil 3.3'te verilmiştir. Beton karışımları hazırlanırken agrega granülometrisi s/ç oranı 0.44 olarak sabit tutulmuş, TS 1247 (2018)'ye uygun üretilmiştir. Hazırlanan karışım örneklerinin üstü ıslak keten örtü ile örtülerek 24 saat bekletildikten sonra kalıplardan çıkarılmış ve deney gününe kadar kirece doygun durumdaki 20 ± 2 °C sıcaklıkta sabit tutulabilen, çevrim pompalı tam dijital su kürü havuzunda 28 gün bekletilerek normal kür uygulanmıştır (Şekil 3.4). Kür süresi tamamlanan örnekler havuzdan çıkarılıp laboratuvar ortamında kurumak için bekletildikten sonra sertleşmiş beton örneklerinde basınç dayanımı, yarmada çekme, donda dayanım, su emme, ısı iletkenlik katsayısı ve ultrases geçiş hızı deneyleri yapılmıştır (Ekmekyapar ve Örüng, 2001; EN 12620+A1, 2009; TS 3323, 2012; TS 802, 2016; TS 706, 2009).



Şekil 3.4. Küp örneklerin genel görünümü ve kür havuzu

3.2.2. Çökme deneyi

Hazırlanan taze beton örnekleri için işlenebilme deneyinde kohezyon, kararlılık gibi nitelikleri ölçmeye yönelik olan çökme deneyi yapılmıştır. Boyutları 800x800 mm olan tabla, üst çapı 10 cm, alt çapı 20 cm ve yüksekliği 30 cm olan kesik koni (Abrams hunisi) kullanılarak yapılan deneyde, hazırlanan taze beton kalıba eşit aralıklarla üç tabaka halinde, her tabaka 16 mm çapında ve 60 cm uzunluğundaki ucu yuvarlatılmış çelik çubukla 25'er defa şişlenerek yerleştirilmiştir. Üst yüzeyi düzeltildikten sonra kesik koni düz şekilde, yavaşça ve sabit hızda yukarı kaldırılmış ve çöken betonun yanına konmuştur (Şekil 3.5). Son olarak kalıp en üst düzeyi ile çöken betonun en üst düzeyi arasındaki fark ölçülmüştür. Bu fark çökme değeri olarak değerlendirilmiştir (TS EN 12350-2, 2019).

3.2.3. Birim hacim ağırlık deneyi

Beton örneklerinin birim hacim ağırlıklarının belirlenmesi amacıyla TS EN 12350-6, (2019), TS EN 12390-7 (2019) ve TS EN 1097-6 (2022)'ya uygun olarak birim hacim ağırlık deneyi yapılmıştır. Kürünü tamamlayan örneklerin birim hacim ağırlıkları, etüvde kurutulduktan sonra ağırlığının kendi hacmine bölünmesi ile elde edilmiştir.



Şekil 3.5. Çökme deneyi

3.2.4. Basınç dayanımı deneyi

Sertleşmiş beton özellikleri arasında en çok aranan ve kullanılan basınç dayanımını belirlemek amacıyla, örneklerin 1500 kN kapasiteli bilgisayar kontrollü hidrolik basınç dayanımı test aygıtı (Utest/UTC-4710) kullanılarak basınç dayanımları belirlenmiştir. Zamana bağlı olarak şekil değiştirme gösteren beton yükleme hızı basınç dayanımı üzerine etkili olduğundan, test aygıtının basınç levhaları arasına yerleştirilen örnekler darbe tesiri olmaksızın 13.50 kN/s sabit hızla yüklemeye tabi tutulmuştur (Şekil 3.6). Deney sonunda örneklerin belirlenen kırılma yükü basınç yükünün uygulandığı örnek yüzey alanına oranlanarak, basınç dayanım değerleri elde edilmiştir (TS 3323, 2012; ASTM C39, 2015; TS EN 12390-3, 2019; TS EN 12390-4, 2019; TS EN 1097-2, 2020).

$$\sigma_b = P/A \quad (3.1)$$

Eşitlikte;

σ_b : Basınç dayanım değeri (MPa),

F: Örneğin kırılma sırasında ulaşılan enerji değeri (N),

A: Örneğin basınca tabi tutulan kesit alanı (mm²),

ifade etmektedir.



Şekil 3.6. Basınç dayanım deneyi

3.2.5. Yarmada çekme deneyi

Boyutları 150x300 mm olacak şekilde hazırlanan beton örneklerine 28 gün kür yapıldıktan sonra yarmada çekme dayanımı deneyi yapılmıştır. Bu amaçla sabitleme düzeneği ile sabitlenen örnekler hidrolük beton basınç makinesiyle yanal yüzeylere 0.6 kN/s sabit hızla yükleme yapılarak betonun kırılma yükleri belirlenmiştir (Şekil 3.7). Düşey çap doğrultusunda yarılma gerçekleşikten sonra kırılma yükünden çekme gerilmeleri eşitlikleriyle betonun yarmada çekme dayanımı hesaplanmıştır (TS EN 12390-6, 2019; Aslan, 2020).

$$f_{ct} = 2 \times F / (\pi \times L \times d) \quad (3.2)$$

Eşitlikte;

f_{ct} : Yarmada çekme dayanımı (MPa),

F: En büyük yük (N),

L: Örneğin yükleme parçasına temas çizgisi uzunluğu (mm),

d: Örneğin seçilen en kesit boyutu (mm),

ifade etmektedir.



Şekil 3.7. Yarmada çekme deneyi

3.2.6. Su emme tayini

Su emme deneyinde, örnekler etüvde (105 ± 5 °C) 24 saat kurutularak fırın kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Örnekler soğutulduktan sonra 24 saat suda (23 ± 2 °C) üzerleri tamamen su ile kaplanacak şekilde bekletilmiş, sudan çıkarılan örneklerin yüzey ıslaklığı havlu ile alınıp tartıldıktan sonra tekrar su içerisinde 24 saat tutulmuştur. Birbirini izleyen tartımlar arasındaki fark %0.5'den az oluncaya kadar işlem sürdürülmüştür (ASTM C642, 1997; ASTM C666-97, 1997; TS EN 12390-7, 2021; TS EN 1097-6, 2022). Örneklerin ağırlıkça su emme yüzdeleri;

$$\text{Su emme (\%)} = (W_d - W_0) / W_0 \quad (3.3)$$

W_d : Örneğin suya doymun durumda havadaki ağırlığı,

W_0 : Örneğin 24 saat 105 ± 5 °C'ta kurutulmuş ağırlığı, eşitliği ile hesaplanmıştır.

3.2.7. Isı iletkenlik katsayısı

Boyutları 150x150x100 mm olarak hazırlanan örnekler, 0.005-0.5W/Mk arasında ölçüm yapabilen ısı parametreler ölçüm aygıtı ile (Thermtest HFM-100) termal iletkenlik ısı akısı tekniğine dayanarak (Şekil 3.8) yapılmıştır (TS ISO 8301,2002; ASTM C518, 2003; TS EN12667, 2003; TS EN 12664, 2009). Ölçümler Erciyes Üniversitesi Teknoloji ve Uygulama Araştırma Merkezi laboratuvarında yapılmıştır.



Şekil 3.8. Isıl iletkenlik katsayısının belirlenmesi

3.2.8. Donma-çözülme deneyi

Dona dayanıklılık deneyi için örnekler önce etüvde $105 \pm 5^\circ\text{C}$ 'ta sabit kütleye ulaşana kadar kurutulmuş ve -20°C 'ta soğutma dolabında dondurulduktan 12 saat sonra 20°C 'ta oda sıcaklığında suda çözdürülmüştür. Donma-çözülme işlemi 25 defa tekrarlandıktan sonra, örnekler $110 \pm 5^\circ\text{C}$ 'ta sabit kütleye ulaşana kadar etüvde kurutulup, daha sonra oda sıcaklığında soğutulduktan hemen sonra tartılmıştır (W_3). Donma-çözülme etkisinde bırakılan örneklerde oluşan fiziksel değişimler görsel olarak incelendikten sonra, örneklerdeki ağırlık kayıpları ve basınç dayanımı değişimleri deneysel olarak belirlenmiştir (Ekmekyapar ve Örüng, 2001).

3.2.9. Ultrases geçiş süresi deneyi

Beton örneklerinin dayanım ve dayanıklılığı hakkında bilgi edinmek için kolay ve pratik yöntem olan ultrases geçiş hızı deneyi, örneklerin iki yüzeyinden dalgaların yayılma hızı ile gerçekleştirilmektedir. Kenevir lif katkılı betonda küp örneklerde birim ağırlık deneyi yapıldıktan sonra Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yapı laboratuvarında kalıpla temas eden yüzeylerine dik doğrultuda verici ve alıcı uçlar arasına yerleştirilen örnek boyunca mikro saniye olarak ultrases geçiş süresi ölçülmüştür (Şekil 3.9). Ultrases geçiş hızı (UPV) örneklerinin boyutlarının geçiş süresine oranlanması ile hesaplanmıştır (BS 1881, 1986; ASTM C 597, 2016; TS EN 12504, 2021).



Şekil 3.9. Ultrases geçiş süresi deneyi

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, farklı oranlarda kenevir lifi katılarak üretilen lifli beton örneklerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinde oluşan değişimler ayrıntılı olarak verilmiş, deneysel çalışma sonuçları tablo ve şekillerle desteklenerek teknik literatür ışığında yorumlanarak değerlendirilmiştir.

Kenevir katkılı liflerle üretilen taze betonda çökme (slump), birim hacim ağırlık deneyleri ile 28 gün normal kür uygulandıktan sonra yapılan sertleşmiş beton örnekleri üzerinde basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, su emme, donma-çözülme, ısı iletkenlik katsayısı ve ultrases geçiş hızı deneyleri yapılmıştır. Donma-çözülme deneyi uygulanan örneklerin ayrıca basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve su emme özelliklerine bakılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 4.1 de verilmiştir.

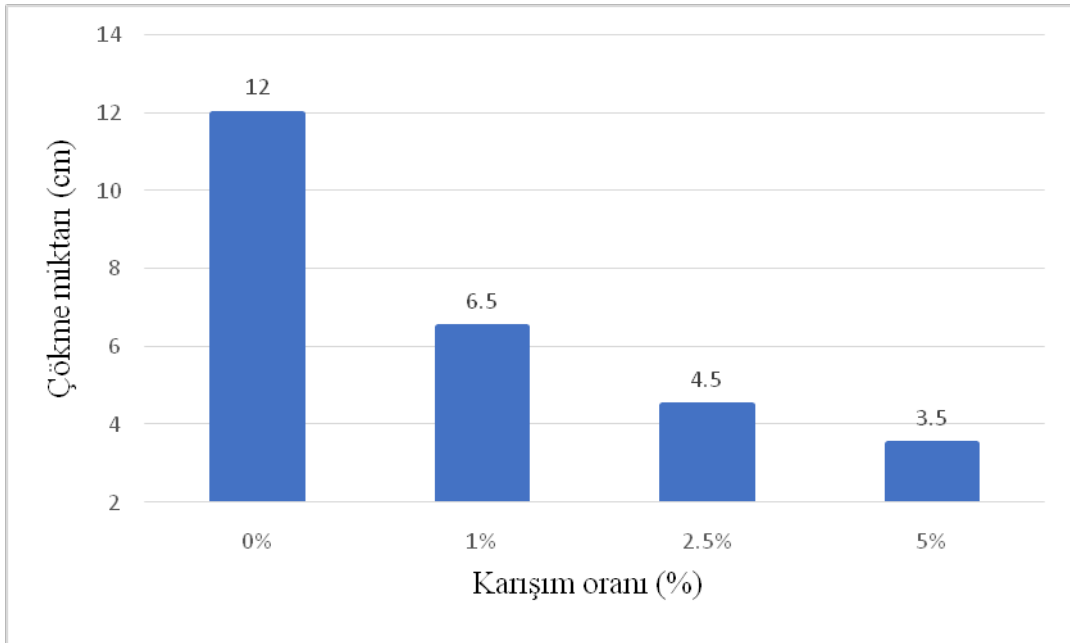
Tablo 4.1. Taze ve sertleşmiş beton deneyi sonuçları

Beton deneyleri		Karışım oranları			
		Kontrol (%0)	%1	%2.5	%5
Çökme (slump) miktarı (mm)		120	65	45	35
Birim hacim ağırlık (kg/m ³)		2 369	2 341	2 295	2 268
Basınç dayanımı (MPa)		44.05	41.11	40.53	33.44
Yarmada çekme dayanımı (MPa)		5.83	6.48	6.04	5.66
Su emme (%)		2.44	2.81	4.50	5.82
Donma-çözülme	Basınç dayanımı (MPa)	39.46	38.29	33.97	31.88
	Su emme (%)	3.95	5.00	5.47	6.72
	Ağırlık değişimi (%)	1.52	2.24	1.12	1.06
Isı iletkenlik katsayısı (W/mK)		2.5162	2.4754	2.3893	2.0395
Ultrases geçiş hızı		4.80	4.74	4.50	4.49

4.1. Çökme (Slump) Deneyi

Bu çalışmada kontrol ve kenevir lif katkılı örnekler üzerinde yapılan çökme deneyi sonucunda; katkılı örneklerde kontrol örneklerine oranla 3.50-12.00 cm arasında çökme miktarı belirlenmiş olup kontrol örneklerinde ortalama çökme miktarı 12.00 cm iken; %1, %2.5 ve %5 kenevir lif katkılı örneklerde sırasıyla 6.50, 4.50 ve 3.50 cm çökme belirlenmiştir (Şekil4.1). Çökme sınıflarına göre değerlendirildiğinde lif katkısız örnekler S3, %1 kenevir lif katkılı örnekler S2, %2.5 ve %5 katkılı örnekler ise S1 kıvamına sahiptir (Ekmekyapar, 2001; TS EN 12350-2, 2019; TS EN 206+A2, 2021).

Beton karışımlarında kullanılan bitki atık miktarına bağlı olarak kullanılması gereken karışım suyu artmaktadır (Manan ve Ganapathy, 2002; Alkaya, 2010). Elde edilen sonuçlardan görüldüğü gibi betona eklenen kenevir lifleri topaklanmaya yol açtığından, lif oranına bağlı olarak üretilen betonların kıvamın ölçüsü olan ve işlenebilmesinin değerlendirilmesinde yararlanılan çökme değerleri azalmaktadır. Dolayısıyla lif katkı oranına bağlı olarak üretilen taze betonun en önemli özelliklerinden olan işlenebilirlik düşmektedir.

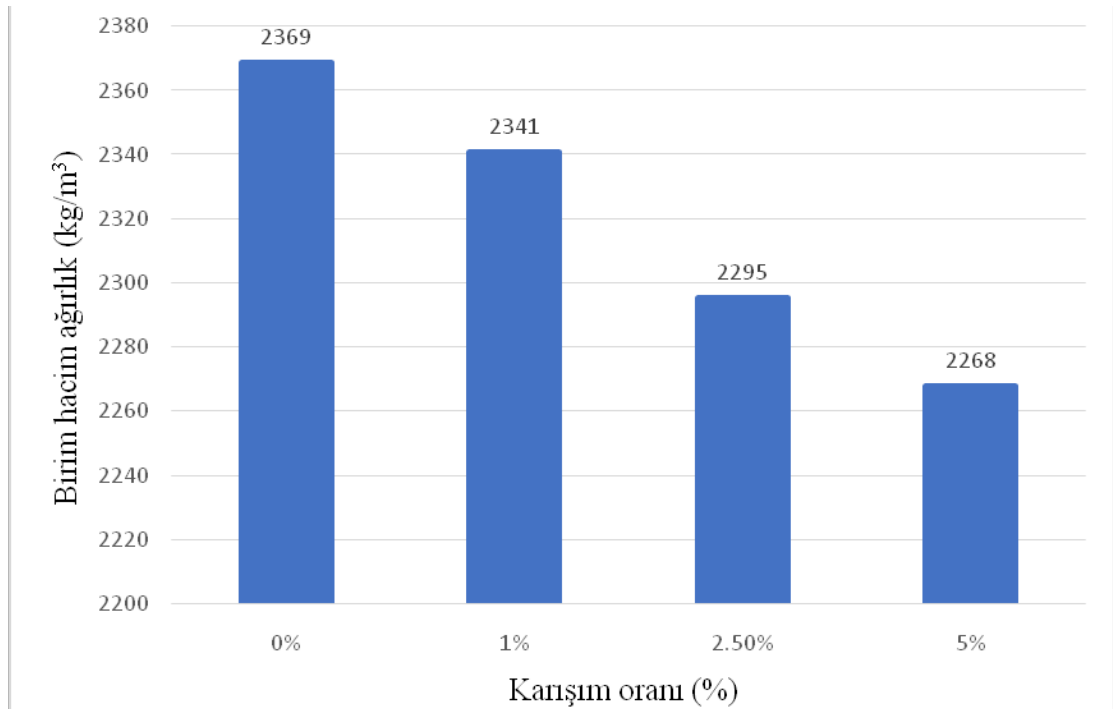


Şekil 4.1. Çökme deneyi sonuçları

4.2. Birim Hacim Ağırlık

Üretilen beton örneklerinin birim hacim ağırlık değerleri 2262-2370 kg/m³ arasında değişmektedir. Katkısız kontrol beton örneklerinin ortalama birim ağırlığı 2369 kg/m³ iken, %1, %2.5 ve %5 kenevir lif katkılı beton örneklerinin ortalama birim ağırlıkları sırasıyla 2341 kg/m³, 2295 kg/m³ ve 2268 kg/m³ olarak belirlenmiştir (Şekil 4.2). Kontrol örneğine kıyasla sırasıyla %1, %2.5 ve %5 kenevir lifi katkılı beton örneklerinde ortalama %1.18, %3.12 ve %4.26 oranında azalma görülmüştür.

Birim ağırlık, beton bileşenlerinin özelliklerine ve betondaki boşluk miktarına bağlıdır. Kenevir lif oranının artışıyla lif katkılı örneklerin ortalama birim ağırlığında, katkısız kontrol beton örneklerine oranla liflerin özgül ağırlığının düşük olması ve oluşan boşluklar nedeniyle azalma belirlenmiştir. Üretilen lif katkılı betonların birim ağırlıkları 2200 kg/m³'ten yüksek olduğu için, hafif beton sınıfına girmemektedir (Ekmekyapar ve Örüng, 2001; TS 2511, 2017; TS EN 12350-6, 2019). Yapılan çalışmalarda da agregaya yerine kenevirin ikame edilmesiyle elde edilen betonların birim ağırlıklarında önemli düşüş olduğu belirlenmiştir (Neville, 2012; Jami ve ark., 2019). Beton birim ağırlığının düşmesi yapı ölü yükünü azaltmakta, ısı ve ses yalıtım özelliklerini artırmaktadır.

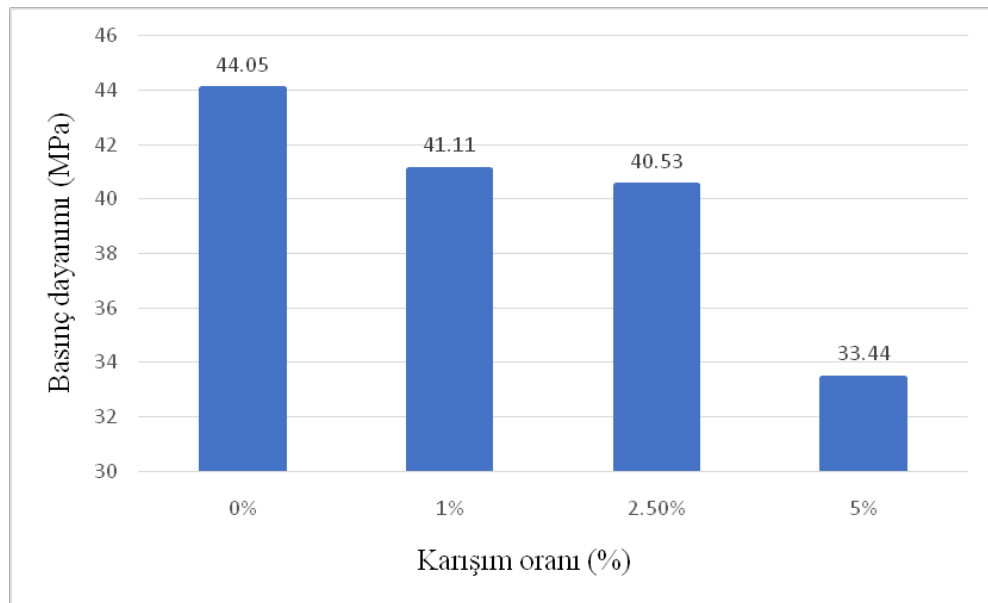


Şekil 4.2. Örneklerin birim hacim ağırlıkları

4.3. Basınç Dayanımı

Araştırmada üretilen betonların basınç dayanımları 32.0-44.41 MPa arasında değişmiştir. Yapılan deneylerin sonuçlarına göre kenevir lifi içermeyen örneklerin ortalama basınç dayanım değeri 44.05 MPa iken, %1, %2.5 ve %5 kenevir lifi oranına sahip olan örneklerin basınç dayanımlarının ortalaması sırasıyla 41.11, 40.53 ve 33.44 MPa elde edilmiştir (Şekil 4.3). En yüksek dayanımı ortalaması 44.05 MPa ile kenevir lifi içermeyen kontrol beton örneklerde gözlenmiştir. Kontrol betonu ile kıyaslandığında örneklerin basınç dayanımlarındaki azalma %1, %2.5 ve %5 katkılı örneklerde sırasıyla %6.67, %7.98 ve %24.09 olarak belirlenmiştir.

Şekil 4.3'den de görüldüğü gibi beton karışımına giren kenevir liflerinin eklendiği örneklerde karışım oranlarının artışına paralel olarak basınç dayanımların düştüğü gözlenmiş olup, karışım içerisindeki lif oranı ile basınç dayanımı arasında negatif ilişki olduğu belirlenmiştir. Basınç dayanımı değerlerinin düşüş göstermesi, karışımdaki kenevir liflerinin artan karışım oranları ile birlikte önemli miktarda su emerek bu suyu bünyesinde tutmasından ve kenevir liflerinin boşluk oranı ve özgül ağırlığının düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca artan oranlardaki lif miktarı ile birlikte işlenebilirlik azaldığı için, basınç dayanımında azalmalar gözlenmiştir. Basınç dayanımı ve birim ağırlık değişimi arasındaki ilişki Şekil 4.4 ve Tablo 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.3. Basınç dayanımı sonuçları

Tablo 4.2. Birim hacim ağırlık (kg/m³) ve basınç dayanımı (MPa) değişkeninin regresyon analizi

	Standardize edilmemiş katsayı		Standardize edilmiş katsayı		Sig. (P)
	B	Standart hata	Beta	t	
Sabit	-168.971	50.077		-3.374	0.007
Birim hacim ağırlık (kg/m³)	0.0902	0.0216	0.797	4.169	0.002
r: 0.797 R²: 0.635					

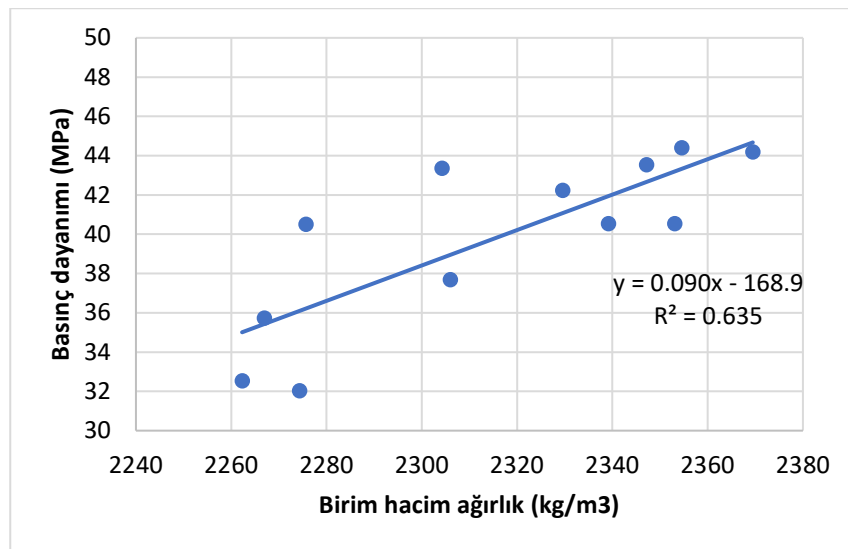
Tablo 4.2 incelendiğinde regresyon sonucu oluşan p değeri anlamlı (P<0,01) olduğu için birim hacim ağırlığının, basınç dayanımını istatistiksel olarak anlamlı düzeyde etkilediği söylenebilir. Ayrıca bu iki değişken arasındaki korelasyon katsayısı ise $r = 0.797$ olarak elde edilmiştir. Bu iki değişken arasında pozitif yönlü yüksek ilişki bulunmaktadır. Yani birim hacim ağırlık arttıkça basınç dayanımının da %79.7 oranında artacağı istatistiksel olarak tespit edilmiştir.

Yapılan Regresyon modeli ise;

$$\hat{Y} = (0.0902 * X) - 168.971$$

$$\text{Basınç Dayanımı} = (0.0902 \times \text{Birim hacim ağırlık}) - 168.971$$

olarak bulunmuştur. Modelin R²'si ise 0.635 olarak hesaplanmıştır. Oluşturulan model orta düzeyde R² değerine sahip istatistiksel olarak orta güçlükte yordama yeteneği olan modeldir (Şekil4.4).



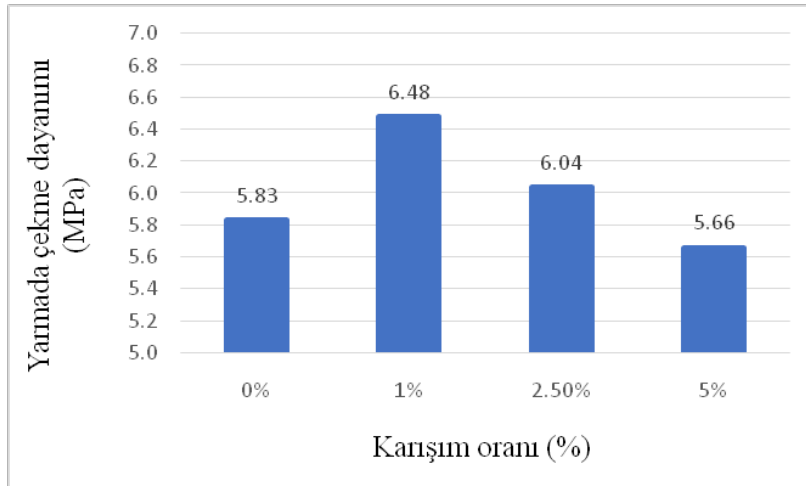
Şekil 4.4. Basınç dayanımı ve birim ağırlık ilişkisi

4.4. Yarmada Çekme Deneyi

Liflerin betona olan etkisini incelemek amacıyla katkısız ve farklı oranlarda %1, %1.5 ve %5 kenevir lif katkılı beton örneklerinin yarmada çekme dayanım değerleri Şekil 4.5'te verilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre kenevir lifi içermeyen kontrol örneklerinin yarmada çekme dayanım değeri 5.83 MPa iken; %1 lif katkılı örneklerin dayanımında ortalama %11.15 artış meydana gelerek ortalaması 6.48 MPa; %2.5 katkılı örneklerin yarmada çekme dayanımında %3.60 artış meydana gelerek ortalama 6.04 MPa; %5 katkılı örneğin yarmada çekme dayanımında %2.92 düşüş meydana gelerek ortalaması 5.66 MPa olmuştur.

Lif miktarının artmasıyla %1 ve %2.5 kenevir lif katkılı örneklerde eğilme dayanımında olumlu sonuçlar elde edilmiş, %5 lif katkılı örneklerde bu değer kontrol grubuna oranla düşmüştür. En yüksek yarmada çekme dayanımı %1 katkılı örneklerde elde edilmiştir. Beton içerisine katılan lifler oldukça kırılğan olan betonun sünekleşmesini, betonun üzerine yük aldığı zaman kırılmadan esnemesini sağlamaktadır.

Lifler ile güçlendirilmiş betonların eğilme dayanımlarında artış olmaktadır. Eğilme dayanımındaki artışın başlıca etkenleri; kullanılan liflerin miktarları, türleri, geometrileri, karışımın matris yapısı ve örnek boyutlarıdır (Shah ve Balaguru, 1992; Aslan, 2020). Betona katılmış liflerin görevi mikro çatlakları makro çatlakların lokalizasyon baskılamasına ve sonuç olarak matrisin görünür gerilme dayanımının artmasını sağlamaktadır (Babu ve Kumar, 2004).

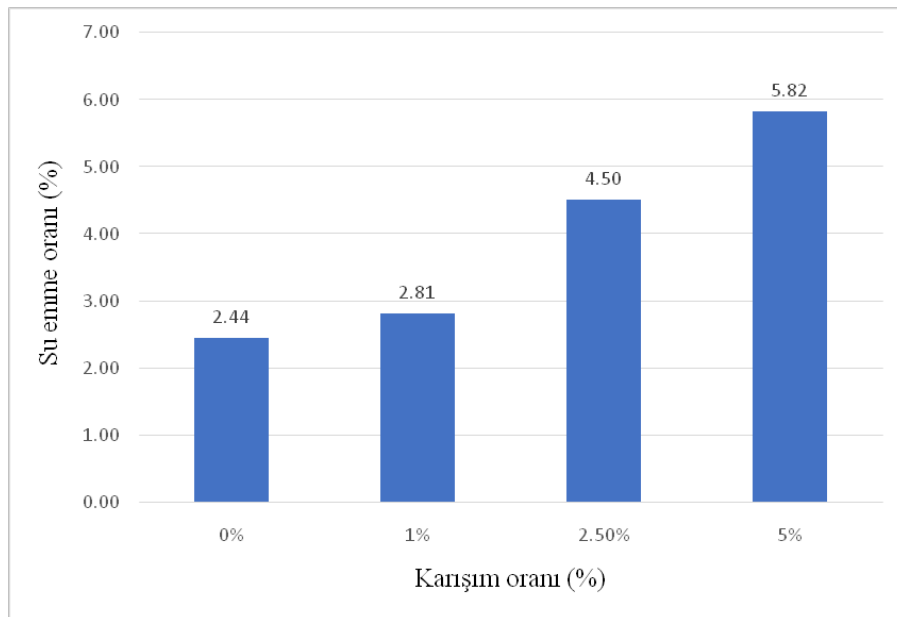


Şekil 4.5. Yarmada çekme dayanımı deney sonuçları

4.5. Su Emme Oranı

Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlara göre kenevir lif katkılı betonların farklı karışım oranlarına göre su emme miktarları Şekil 4.6’da verilmiştir. Kenevir lifi içermeyen kontrol örneklerin ortalama su emme değeri %2.44 iken, %1, %1.5 ve %5 katkılı örneklerin su emme değerlerinin ortalaması sırasıyla %2.81, %4.50 ve %5.82 olmuştur. Kontrol betonu ile kıyaslandığında örneklerin su emme miktarlarındaki artış %1, %2.5 ve %5 katkılı örneklerde sırasıyla ortalama %15.16, %84.43 ve %138.53 olarak belirlenmiştir. Karışımların ortalama su emme oranlarının %2.42 ile %5.91 arasında değiştiği belirlenmiş olup, en yüksek su emme oranı %5 kenevir lif katkılı beton örneklerde elde edilmiştir. Birim hacim ağırlık (kg/m^3) ve su emme oranı (%) değişkeninin regresyon analizi Tablo 4.3’de, yapılan regresyon analizinin grafiği ise Şekil 4.7’de verilmiştir.

Hazırlanan kenevir lif katkılı beton örneklerinin tamamında karışıma giren kenevir lif artışına paralel olarak su emme oranlarında artış gözlenmiştir. Bunun nedeninin kenevir liflerinin su emme kapasitesinin yüksek olması ve liflerden kaynaklanan topaklanmalar nedeniyle beton içerisindeki boşluk oranını artırması olduğu söylenebilir. Bu nedenle kenevir katkılı lifler kullanılarak üretilecek betonun su geçişini engelleyecek şekilde ince sıva ile kullanılması gerekmektedir.



Şekil 4.6. Su emme oranları

Tablo 4.3. Birim hacim ağırlık (kg/m³) ve su emme oranı (%) değişkeninin regresyon analizi

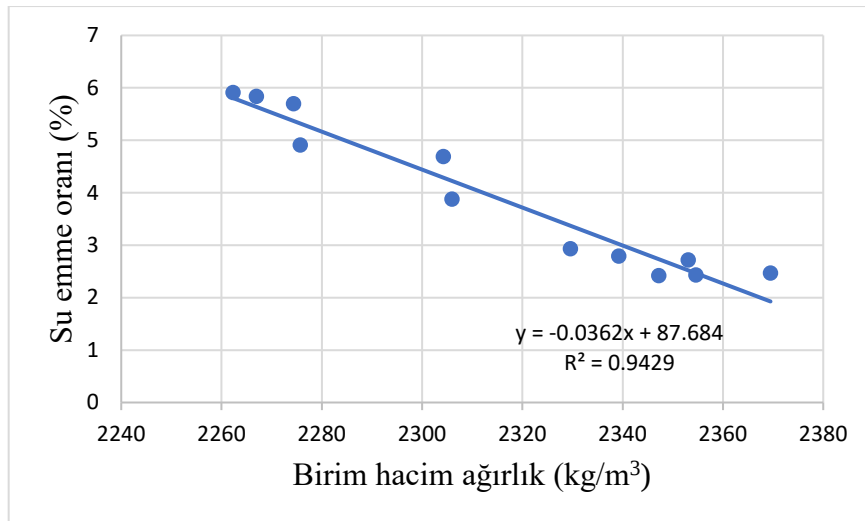
	Standardize edilmemiş katsayı		Standardize edilmiş katsayı		
	B	Standart h4.ata	Beta	t	Sig. (P)
Sabit	87.684	6.519		13.450	0.000
Birim hacim ağırlık (kg/m³)	-0.0362	0.003	-0.971	-12.855	0.000
r: -0.971 R²: 0.943					

Tablo 4.3. incelendiğinde regresyon sonucu oluşan p değeri anlamlı (P<0,01) olduğu için birim hacim ağırlığın, su emme oranını istatistiksel olarak anlamlı düzeyde etkilediği söylenebilir. Ayrıca bu iki değişken arasındaki korelasyon katsayısı ise $r=-0.971$ olarak belirlenmiş olup, aralarında negatif yönlü yüksek ilişki bulunmaktadır. Yani birim hacim ağırlık oranı arttıkça su emme oranının da %97.1 oranında azalacağı istatistiksel olarak tespit edilmiştir. Yapılan Regresyon modeli ise;

$$\hat{Y} = (-0.0362 * X) + 87.684$$

$$\text{Su emme oranı} = (-0.0362 \times \text{Birim hacim ağırlık}) + 87.684$$

olarak bulunmuştur. Modelin R²'si ise 0.942 olarak hesaplanmıştır. Oluşturulan model yüksek R² değerine sahip istatistiksel olarak güçlü yordama yeteneği olan bir modeldir. Yapılan Regresyon analizinin grafiği ise Şekil 4.7'de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Su emme ve birim ağırlık ilişkisi

4.6. Donma-Çözölme

Dış koşullar etkisindeki betonlarda çevre koşullarındaki değişimlere bağlı olarak beton boşluklarında donan su hacminin artması ve sertleşmiş betonun bu hacim değişkenliğine karşı koyamayarak çatlaması sonucu hasar oluşmaktadır. Islanarak doygun hale gelen ve beton için fiziksel özellik olan donma-çözölme etkisindeki betonlarda hasarlar oluşmaktadır. Bu nedenle betonun özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla yapılan çalışmalarda donma-çözölme özelliği önemlidir. Yapılan çalışmada da beton bileşimine farklı oranlarda katılan kenevir lifleri ile üretilen betonlar, normal kür ve donma-çözölme sonucu belirlenen özellikleri göz önüne alınarak araştırılmıştır (Şekil 4.8).

Basınç Dayanımı; Sertleşmiş beton örneklerinin donma-çözölme sonrası basınç dayanım değerleri, kontrol örneklerine ilişkin basınç dayanımı değerleri ile karşılaştırılarak, basınç dayanımlarındaki azalmalar belirlenmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre beton örneklerinin donma-çözölme tekrarları sonucunda donma-çözölme deneyi uygulanmayan örneklerin ortalama basınç dayanım değerleri, donma-çözölme uygulanan örneklerin ortalama basınç dayanımları ile kıyaslandığında kontrol örneklerde %10.42; %1, %2.5 ve %5 kenevir lifi katkılı örneklerde sırasıyla %6.86, %16.19 ve %4.67 düşüş gözlenmiştir.

Donma-çözölme etkisinde bırakılan kenevir lif katkılı betonların 28. günlük basınç dayanımları normal kür koşullarında tutulan örneklere oranla bir miktar azalmış olmasına karşın bu azalma önemli düzeyde değildir. Bütün örneklerdeki basınç dayanımı değişimleri %20'den az olduğu için, donma-çözölmeye dayanıklılık gösterdiği belirlenmiştir (Ekmekyapar, 2001; TS EN 12390-7, 2019).

Yapılan benzer çalışmalarda kenevir betonlarının donma-çözölme döngüsü sırasında etkisi altında kaldığı suyun da etkisiyle basınç dayanımlarında azalma gözlemlenmiştir. Kenevir betonlarındaki büyük gözenekler nedeniyle kristalleşme gerçekleşemediğinden, sodyum klorür tuzunun etkisine karşı iyi dirence sahip olduğu belirlenmiştir. Ağır mikrobiyal uygulamaların yoğun kullanılması sonucunda dahi biyolojik bozulma gözlemlenmemiştir (Walker ve ark 2014).

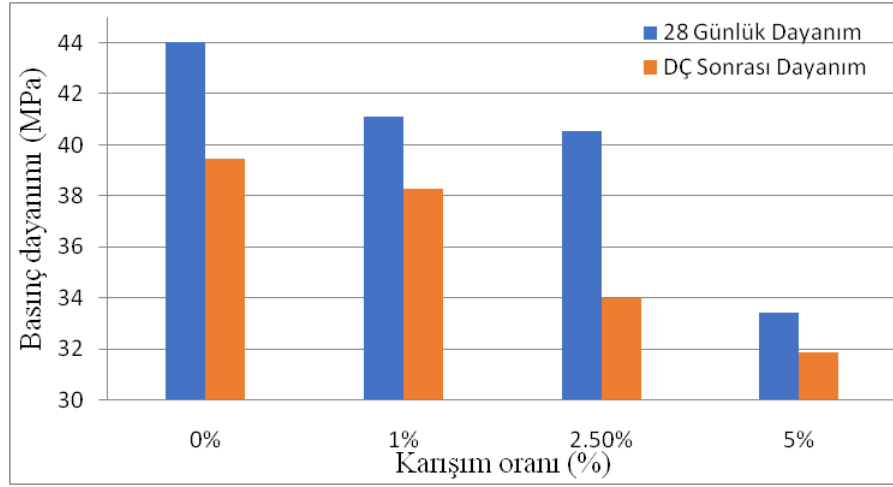
Su emme; Sertleşmiş beton örneklerinin, donma-çözülme sonrası su emme oranları, kontrol örneklerine ilişkin su emme oranları ile karşılaştırılarak, su emme oranlarındaki değişiklikler gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre donma-çözülme deneyi uygulanmayan normal kür koşullarındaki örneklerin ortalama su emme değerleri, donma-çözülme uygulanan örneklerin ortalama su emme değerleri ile kıyaslandığında kontrol örneklerinde ortalama %61.89; %1, %2.5 ve %5 katkılı örneklerde sırasıyla ortalama %77.94, %21.56 ve %15.46 artış gözlenmiştir.

Ağırlık kaybı; Sertleşmiş beton örneklerinin donma-çözülme sonrası ağırlık kayıplarını belirleyebilmek için, deney öncesi ve sonrasında örneklerin kuru ağırlıkları belirlenerek karşılaştırılmıştır. Donma-çözülme deneyi sonrası belirlenen ağırlık kayıpları kontrol örneklerinde %1.52 iken; %1, %2.5 ve %5 kenevir lif katkılı beton örneklerinde sırasıyla %2.24, %1.12 ve %1.06 olarak belirlenmiştir. Üretilen beton örneklerinin donma-çözülme sonrası ağırlık kaybı değerleri incelendiğinde, kenevir lif miktarı arttıkça ağırlıklardaki düşüşün de arttığı, en yüksek ağırlık kaybının %1 kenevir lif katkılı örneklerde olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.8).

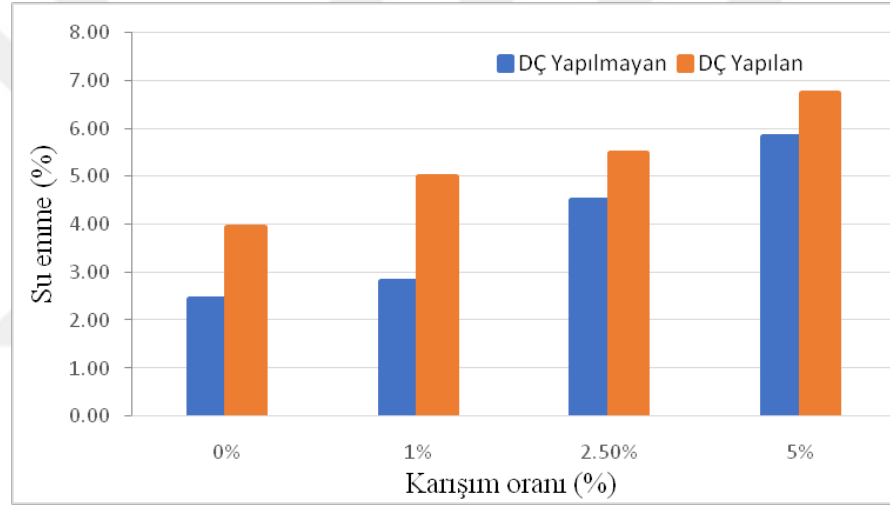
Sertleşmiş beton örneklerinin donma-çözülme deneyi öncesi ve sonrasında yapılan ağırlık ölçümleri sonucunda belirlenen ağırlık kaybı değerleri %0.3'ün altındaki çok küçük değerler olduğundan, örneklerin ağırlık kayıplarına göre, donma-çözülmeden fazla etkilenmedikleri sonucuna varılmıştır.

Sertleşmiş beton örneklerinde donma-çözülme sonrası gözle inceleme yapılarak çatlak, dağılma, kopma parçalanma gibi sakıncalı olabilecek deformasyonların fazla oluşmadığı, örneklerin kısmen yüzey düzgünlüğünü koruduğu, çukurların ve süngerimsi yüzey yapısının oluşmadığı belirlenmiştir (Şekil 4.9).

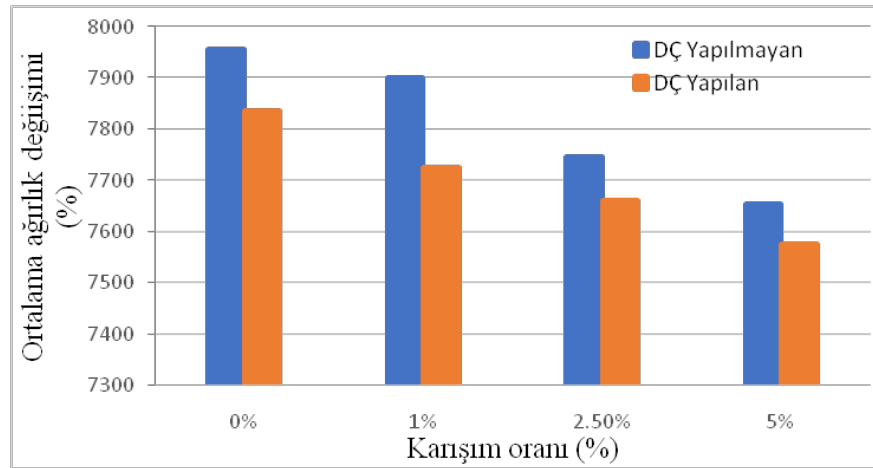
Elde edilen sonuçlara göre betona katılan kenevir liflerinin donma-çözülmeyi olumsuz yönde etkilemediği üretilen betonların donma-çözülme etkisinin betonun özellikleri üzerindeki etkilerinin önemsiz olduğu söylenebilir. Kenevir lifinin farklı karışım oranlarında üretilerek kullanılmasıyla tüm betonların donma dayanıklılık açısından yeterli dayanıklılığa sahip olması, özellikle soğuk iklim koşullarında açığa çıkan yapı elemanlarında betonun kullanılabilirliğini daha da arttırmaktadır.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.8. Donma-çözülme deneyi uygulanan örneklerin basınç dayanımı, su emme ve ağırlık kaybı değişimleri



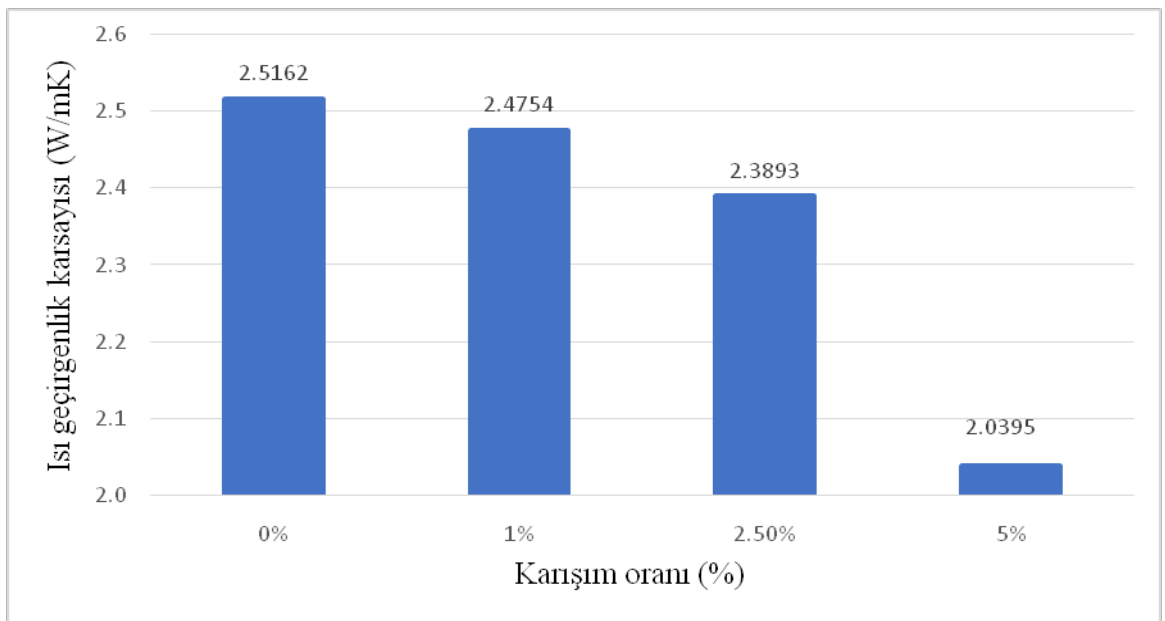
Önce

Sonra

Şekil 4.9. Donma-çözülme öncesi ve sonrası beton örneklerinin durumu

4.7. Isı İletkenlik Katsayısı

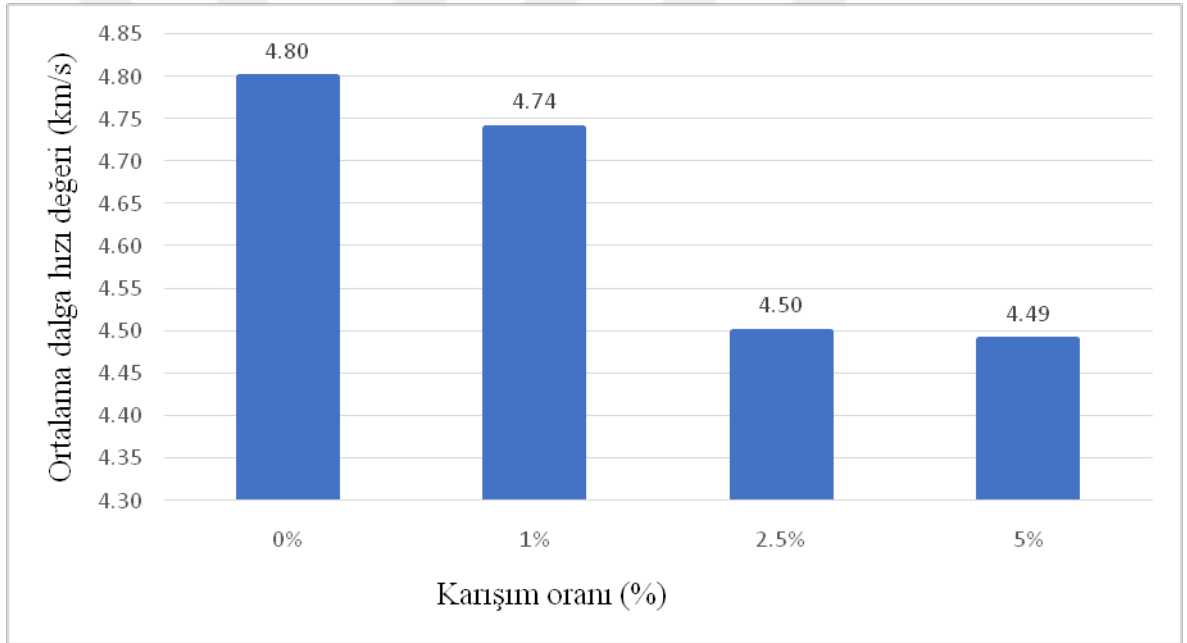
Üretilen beton örneklerinde en yüksek ısı iletkenlik katsayısı değeri tüm örnekler de 2.0395-2.5162 W/mK arasında değişmekte olup, kontrol beton örneklerinde ortalama 2.5162 W/mK iken, %1, %2.5 ve %5 lif katkılı örneklerde sırasıyla ortalama 2.4754, 2.3893 ve 2.0395 W/mK olarak belirlenmiştir. Kontrol betonu ile kıyaslandığında örneklerin ısı iletkenlik katsayılarındaki azalma %1, %2.5 ve %5 katkılı örneklerde sırasıyla %1.62, %5.04 ve %18.95 olarak belirlenmiştir (Şekil 4.10).



Şekil 4.10. Isı geçirgenlik katsayısı değerleri

4.8. Ultrases Geçiş Hızı

Tüm örneklerde ultrases geçiş hızı değerleri 4.41-4.93 km/sn arasında değişmektedir. Katkısız beton örneklerinin ortalama ultrases geçiş hızı 4.80 km/sn iken %1, %2.5 ve %5 lif katkılı örneklerin ortalama ultrases geçiş hızı değerleri sırasıyla 4.74, 4.50 ve 4.49 km/sn olarak belirlenmiştir (Şekil 4.11). Kontrol betonu ile kıyaslandığında örneklerin ultrases geçiş hızı değerlerinde %1, %2.5 ve %5 katkılı örneklerde sırasıyla %1.25, %6.25 ve %6.46 düşüş belirlenmiştir.



Şekil 4.11. Okunan en yüksek ortalama μs değerleri

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Betonun çekme yükü ve eğilme dayanımının basınç dayanımına göre çok düşük olduğu, dayanıklılık ve kalıcılık konusunda da sorunları olduğu bilinmektedir. Kırılgan kompozit olarak bilinen beton, düşük çekme dayanımı nedeniyle çelik donatılar ile güçlendirilen ve üzerinde en çok araştırma yapılan yapı malzemelerindendir. Betonun olumsuz özelliklerinin iyileştirilerek karşılaşılan sorunların ortadan kaldırması, dayanım ve dayanıklılığının artırılması, bütünlüğünün sağlanması ve kullanım amacına uygun yeni özellikler kazandırılması amacıyla lif gibi farklı katkı malzemeleri kullanılmaktadır. Yapı malzemesi olarak kullanılan doğal ve geri dönüştürülebilir lifler, betonun mekanik özelliklerini iyileştirerek çatlamasını önlemekte, tokluk özelliğini artırmaktadır.

Günümüzde önemi ve kullanımı yakın zamanlar göz önüne alındığında giderek artan doğal lif katkılı betonların geliştirilmesi amacıyla birçok çalışma yapılmaktadır. Bu amaçla kenevir ile ilgili kullanım alanları çeşitlenerek birçok üretim kalemleri oluşmakta, kenevirin özelliklerine göre değerlendirilmesi için yeni üretim yöntemleri geliştirilmektedir. Doğal yapı malzemesi olarak kenevir, mevcut yapı standartlarının karşı karşıya olduğu çeşitli sorunlara çözümler sunmaktadır. Karbon salınımı az olan kenevir, öncelikle çevre üzerindeki olumlu etkilerinden dolayı sürdürülebilirlik açısından da önemlidir. Böylece bol miktarda bulunan kenevir gibi bitkisel atıkların değerlendirilerek kırsal alanlarda yaşam standartlarının iyileştirilmesi, malzemelerin ucuz ve uygun nitelikte üretimi ile düşük maliyetli tarımsal yapıların oluşturulması sağlanabilecektir.

Bu çalışmada son dönemlerde gerek dünyada gerekse Türkiye’de üretimi artan kenevir bitkisinin atıl durumda olan saplarının farklı oranlarda (%1, %2.5, %5) betona eklenmesiyle üretilen kenevir lif katkılı betonların taze ve sertleşmiş beton üzerindeki mekanik ve fiziksel özellikleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre artan lif miktarı ile birlikte birim hacim ağırlık, basınç dayanımı, ultra ses ve ısı iletkenlik katsayısı azalmış, yarmada çekme dayanımları ve su emme miktarı artmıştır.

Üretilen beton örneklerinin çökme değerleri 3.50-12.00 cm arasında belirlenmiştir. Betona eklenen kenevir lifleri topaklanmaya yol açtığından, artan lif oranı ile birlikte taze betonun önemli özelliklerinden işlenebilirlik olumsuz yönde etkilenecek azalmıştır.

Kenevir lifleri kullanılarak üretilen beton örneklerinin birim ağırlıkları 2262-2370 kg/m³ arasında değişmekte olup, lif oranının artmasıyla birim hacim ağırlık değerleri azalmıştır. Örneklerin birim hacim ağırlıkları liflerin özgül ağırlığının düşük ve oluşan boşluklar nedeniyle katkısız kontrol beton örneklerine oranla en fazla %4.26 oranında (%5 kenevir lif katkılı örneklerde) azalmıştır.

Karışıma giren kenevir lif oranlarına bağlı olarak kenevir liflerinin su emerek bu suyu bünyesinde tutması, düşük özgül ağırlığı, azalan işlenebilirliği ve bitki yüzeyinin pürüzsüz olması gibi nedenlerle basınç dayanımlarında düşüşler belirlenmiştir. Kontrol betonu ile kıyaslandığında örneklerin basınç dayanımlarındaki azalma en fazla %24.09 (%5 lif katkılı beton) olarak (ortalama 33.44 MPa) bulunmuştur.

En yüksek yarmada çekme dayanımı %11.15 artış ile %1 katkılı örnekte belirlenmiştir. Kenevir lif katkısının örneklerin çekme dayanımlarına etkisi %1 lif katkılı örnekte belirgin olmuştur. Diğer katkı oranlarında ise kontrol betonundan yüksek çıkmıştır.

Üretilen beton örneklerinin su emme değerleri %2.42-5.91 arasında belirlenmiştir. Kontrol betonu ile kıyaslandığında örneklerin su emme miktarlarında en yüksek artış %138.53 ile %5 katkılı örneklerde belirlenmiştir.

Elde edilen sonuçlardan kenevir liflerinin betonda katkı maddesi olarak kullanılması ile üretilen betonların donma-çözülme özellikleri üzerinde önemsiz olması nedeniyle bu betonların, özellikle sıcaklık farklılıklarının yüksek ve soğuk iklim koşullarında açık yapı elemanlarında başarıyla kullanılabileceği belirlenmiştir.

Üretilen beton örneklerinde ısı iletkenlik katsayısı değeri tüm örnekler de 2.0395-2.5162 W/mK arasında değişmekte olup artan lif oranı ile birlikte ısı iletkenlik katsayısı da yükselmiştir. Kontrol beton örneklerine kıyasla ısı iletkenlik katsayısındaki azalma en fazla %18.95 ile %5 katkılı örnekte (2.0395 W/mK) elde edilmiştir.

Beton örneklerinde ultrases geçiş hızı değerleri tüm örneklerde 4.49-4.80 km/sn arasında değişmekte olup, lif oranının artmasına paralel olarak artmıştır. Kontrol beton örneklerine oranla ultrases geçiş hızındaki azalma en fazla %6.46 ile %5 katkılı örnekte elde edilmiştir. Lif oranının artmasıyla meydana gelen topaklaşma sonucu oluşan boşluklar, ses dalgalarının yayılmasını engelleyerek ultrases geçiş hızını düşürmektedir.

Bu çalışmada kenevir liflerinin beton üretiminde kullanılması ile çekme dayanımı yüksek, soğuk iklim koşullarına uygun, ısı iletkenliği düşük malzeme üretilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçların ışığında, kenevir lif karışım oranına bağlı olarak çekme dayanımını artırmakta (en fazla %1), bu aralığın üzerindeki karışım oranlarında dayanım özellikleri azalmakta buna karşın yalıtım özelliği artmaktadır. Özellikle ısı yalıtımının önemli olduğu soğuk iklim koşullarındaki fazla yük etkisinde olmayan tek katlı tarımsal yapıların taşıyıcı elemanlarında, dayanım ve dayanıklılık özelliklerinin iyileştirilmesi yönünde önlemler alınarak kullanılabileceği düşünülmektedir.

İncelenen lif katkılı beton örneklerinin birim ağırlığının az da olsa düşmesi yapı yüklerinin azaltılması, ısı ve ses yalıtım özelliklerinin artırılması gibi üstünlükleri nedeniyle önemlidir. Yapı yükünün azaltılması ile özellikle tarımsal yapılarda malzemede ekonomi sağlanmakta, doğal afetler sonucu karşılaşılan ekonomik kayıplar azaltılabilmektedir. Lif katkılı betonların hafif agregalar ile kullanılmasıyla daha hafif, ekonomik ve yalıtımlı betonlar elde edilebilecektir.

Karışıma eklenen lif oranının aşırı artması ile azalan birim hacim ağırlıkla birlikte homojen karışımın gerçekleştirilememesi, buna bağlı olarak sıkıştırmanın olumsuz etkilenmesi ile boşluk miktarı da artmaktadır. Betonda boşluk oranının fazla olması, dayanım ve dayanıklılığı da olumsuz etkilemektedir. Sertleşmiş beton özellikleri incelendiğinde lif miktarının artması ile işlenebilirliğin azalması nedeniyle birim hacim değerlerinde azalma, su emme değerlerinde artış görülmüştür. Bu boşluklar aynı zamanda basınç dayanımının da düşük değerler almasına da neden olmuştur. Diğer yandan kenevir lif miktarının artması, liflerin topaklanarak beton içinde homojen dağılmaması sorunlarını oluşturabilmektedir. Bu nedenle yüksek lif oranlarında karışımın olanaklar ölçüsünde homojen olması yerinde olacaktır. Liflerin betonda topaklanmasını önleyecek farklı katkılar ve yöntemler kullanarak yeni çalışmalar yapılabileceği düşünülmektedir.

Organik atık olan kenevir lifinin su emme oranı yüksek olduğundan, lif oranı arttıkça su emme değerleri beklenildiği gibi yüksek çıkmıştır. Özellikle su ile temas edecek kenevir katkılı yapı elemanlarında mekanik ve termal özelliklerin olumsuz etkilenmemesi için, su geçirgenliğini düşürücü önlemler alınmalıdır. Katkı olarak kullanılan liflerin fazla su emmesi nedeniyle hazırlanacak beton karışımlarında kullanılacak su miktarlarının artırılması gerekmektedir. Ayrıca karışımlar hazırlanırken su geçirimsiz katkılar kullanılarak su emiliminin azaltılması ve oluşan boşlukların en aza indirilmesi yönünde çalışmalar yapılmalıdır.

Hazırlanan karışımlarda kullanılan kenevir lif oranları değiştirilerek ve farklı kalınlıklar denenerek gerekli ve yeterli ısı iletkenlik katsayıları elde edilebilir. Böylece ısıtma giderleri ve yalıtım malzemelerinin kullanımı azaltılarak ekonomik kazanç elde edilebilecektir. Elde edilen kenevir lif katkılı betonlardan çevre dostu ve sürdürülebilir ısı yalıtım malzemesi üretilebileceği belirlenmiş olmakla birlikte, bu amaçla yapılacak çalışmalar genişletilmelidir. Yapılacak araştırmalarla yüksek yalıtım özelliğine sahip, sağlıklı yaşam koşullarını ve tarımsal yapılarda uygun çevre koşullarını sağlayabilen çevre dostu, yerel ve sürdürülebilir nitelikte kenevir katkılı yalıtım malzemeleri araştırılmalıdır.

Hazırlanan örnekler daha dayanımlı hale getirilmeli, bu amaçla çalışmada kullanılan agregalar dışında farklı agregalar, dayanımı artırtacak bağlayıcılar ve katkıların kullanılması ile eğilme dayanımındaki artışın en önemli nedenlerinden farklı lif miktarı, lif boyutu, narınlık oranları ile ilgili denemeler yapılarak dayanımların artırılması yönünde çalışmalar yapılmalıdır.

Sonuç olarak; yapılan mekanik ve fiziksel deneyler sonucunda ekonomiye katkı sağlamak ve çevre kirliliğini azaltmak amacıyla, ekonomik, sürdürülebilir, çevre dostu, geri dönüştürülebilir ve düşük karbon salınımına sahip kenevir lif katkılı betonların tarımsal yapılarda güvenle kullanımının uygun olduğu ve geliştirilerek kullanılabileceği söylenebilir. Yapı malzemelerinden beklenen özellikler göz önünde bulundurulduğunda, elde edilen malzemenin bazı özelliklerinin iyileştirildiği görülebilmektedir. Uygulandıktan sonra yalıtım ve çekme dayanımı gibi yapıya birçok yarar getireceği söylenebilir. Beton içerisine katılan lifler kırılma betonun sünekleşmesine, betonun üzerine yük aldığı zaman kırılmadan esnemesine, çatlakların başlangıcını, yayılmasını ve birleşmesini önlemeye katkı sağlayacaktır. Kenevir atıklarının kullanılmasıyla, fiziksel ve mekanik özellikleri yönünden daha yüksek dayanımlara, yüksek yalıtım performansına, düşük üretim enerjisine sahip, sağlıklı yaşam koşullarını sağlayan, çevre dostu, yerel ve sürdürülebilir özellikte betonlar elde edilebilir.

6. KAYNAKLAR

- ACI Committee 544, 1982. State-of-the-Report on Fibre Reinforced Concrete, (ACI 544.1R-82), Concrete International: Design and Construction. 4(5): 9-30, American Concrete Institute, Detroit, Michigan, USA.
- ACI Committee 544, 1989. Measurement of Properties of Fiber Reinforced Concrete (ACI 544.2R-89), American Concrete Institute, Farmington Hills, pp. 11. Michigan.
- Açıkgenç, M., Arazsu, U. ve Alyamaç, K. E., 2012. Farklı Karışım Oranlarına Sahip Polipropilen Lifli Betonların Dayanım ve Durabilite Özellikleri., Süleyman Demirel Üniversitesi Uluslararası Teknoloji Dergisi, 4, (3), s. 41–54, Isparta.
- Acun, S., 2000. Yüksek Dayanımlı Beton Üretiminde Dizayn Parametresi Olarak Lifsel Kalıntıların İrdelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi), İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık ABD., 154 s., İstanbul.
- Açıkel, H., Altun, F. ve Elcuman, H., 2005. Miskantus Bitkisinin Öğütülmüş Halde ve Lif Katkısı Olarak Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisinin Deneysel İncelenmesi. Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi, s.244-252. Antalya.
- Ağaoğlu, O., 2018. Beton Atıklarının Agrega Olarak Kullanılması İle Üretilen Makro Lifli Betonların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi), Konya KTO Karatay Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 74s., Konya.
- Akkaş, A., Alpaslan, L., Arabacı, S. ve Başyigit, C., 2010. Polipropilen Lif Katkılı Yarı Hafif Betonların Basınç Dayanımı Özellikleri. Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 2 (1), 9-14s., Isparta.
- Aksoy, D., Aytaç, S. ve Paslı, R. 2019. Endüstriyel Kenevir Gerçeği. 2. Uluslararası 19 Mayıs Yenilikçi Bilimsel Yaklaşımlar Kongresi, Şubat 2019, s. 850-858, Samsun.
- Ali M. A., 2017. Cam Lif Takviyeli Betonun Yangın Dayanımlarının Çeşitli Parametreler Açısından İrdelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi), Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 76s., Konya.
- Alkaya, Ş., 2010. Hafif Beton Üretiminde Organik Atıkların (Ayçiçeği Sapı) Kullanılabilme Olanakları, (Yüksek Lisans Tezi), Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Ana Bilim Dalı, 47s., Tekirdağ.
- Anonim, 2022. Adoçim Tokat Çimento Fabrikası Verileri. Tokat.
- Aran, A. 1990. Elyaf Takviyeli Karma Malzemeler. İstanbul Teknik Üniversitesi, Yayını, 95s., İstanbul.
- Arslan, M., ve Aktaş, M., 2018. İnşaat sektöründe kullanılan yalıtım malzemelerinin ısı ve ses yalıtımı açısından değerlendirilmesi, Politeknik Dergisi., 21 (2), 299-320, Ankara.

- Aslan, S., 2020. Cam Lif Takviyesinin Beton Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi (Yüksek Lisans Tezi). Avrasya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 56s., Trabzon.
- ASTM C39, 2015. American Society for Testing and Materials. Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, ASTM C39/C39M-01, Philadelphia.
- ASTM C642, 1997. Standard test method for density, absorption, and voids in hardened concrete. American Society for Testing and Materials, USA.
- ASTM C666-97, 1997. Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing, Annual Book of ASTM Standards, vol. 04.02. West Conshohocken, PA.
- ASTM C518, 2003. Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa., 15 s.
- ASTM C39, 2015. American Society for Testing and Materials. Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, ASTM C39/C39M-01, Philadelphia.
- ASTM C 597, 2016. Standard Test Method for Pulse Velocity through Concrete; American Society for Testing and Materials: West Conshohocken, PA, USA.
- Atashafrazeh, M., 2013. Polipropilen Lif Takviyeli Betonların Yüksek Sıcaklık Etkilerinden Sonra Basınç Dayanımlarının İncelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi), Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 96 s., Erzurum.
- Aydın, F., 2011. Cam Lifi Takviyeli Plastik (GFRP) Kompozit ve Beton İle Üretilen Hibrit Yapı Elemanlarının Mekanik Performansının Araştırılması. (Doktora Tezi), Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 249s., Sakarya.
- Aydoğan, M., Terzi, Y. E., Gizlenci, Ş., Mustafa, A., Alpay, E., Meral, H., 2020. Türkiye’de kenevir yetiştiriciliğinin ekonomik olarak yapılabilirliği: Samsun ili Vezirköprü ilçesi örneği. Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi, 35 (1), s. 35-50, Samsun.
- Balciunas, G., Pundiene, I., Lakusione, L., Vejelis, S., Korjamins, A., 2015. Impact of hemp shives aggregate mineralization on physical-mechanical properties and structure of composite with cementitious binding. Material Industrial Crops and Products, 77: 724-734.
- Baradan, B., Yazıcı, Aydın, S., (Ed), Ün, H., 2012. Beton. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, 334, 825s., İzmir.
- Barnat-Hunek, D. and Fic, S., Smarzewski, P., 2015. Mechanical and thermal properties of hemp-lime composites, Polish Society of Composite Materials., 15 (1), 21-27.

- Bitar, R., Saad, G., Awwad, E., Khatib, H., Mabsout, M., 2020. Strengthening of reinforced masonry walls using natural hemp fibers. *Journal of Building Engineering*, 30: 101253.
- BS 1881, 1986. Testing Concrete—Part 203: Recommendations for the Measurement of Velocity of Ultrasonic Pulses in Concrete. British Standards Institution, London.
- Buch, N., Rehman, O. M., ve Hiller, J. E., 2007. Impact of Processed Cellulose Fibers on Portland Cement Concrete Properties. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, c. 1668, 1, ss. 72–80.
- Cengiz, A., 2015. The Preparation of Natural-Fiber Reinforced Composite Materials for Construction Industry. (Yüksek Lisans Tezi), Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, 94s., Ankara,
- Collet, F. and Pr  tot, S., 2014. Thermal conductivity of hemp concretes: Variation with formulation, density and water content, *Construction and Building Materials*., 65, 612-620.
- Coutts, R. S., Ridikas, V., 1982. Refined wood fibre-cement products, *Appita*, 395-400 s.
-   mak, B., Bideci  , A., Bideci  , S.,   ., 2018. Effects of hemp fibers on characteristics of cement based mortar. *Construction and Building Materials*, 169: 794-799.
- Ekmek  apar, T.,   r  ng., 2001. İn  aat Malzeme Bilgisi, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ofset Tesisi, 234 s., Erzurum.
- Erdo  an, T.Y., 2003. Beton, Orta Do  u Teknik Üniversitesi, İn  aat M  hendisli  i B  l  m  , METU Press, 741s., Ankara.
- Ersoy, H.Y., 2001. Kompozit Malzeme, Literat  r Yayıncılık, Literat  r Yayınları: 66, 238s., İstanbul.
- Fisher, A.K., Bullen, F., Beal, D., 2001. The Durability of Cellulose Fibre Reinforced Concrete Pipes in Sewage Applications, *Cement and Concrete Research*, volume:31, no: 4, page: 543-553.
- Ganesh Babu. K., ve Pavan Kumar. D., 2004. Behavior of Glass Fibre Reinforced Cement Composites. ICFRC International Conference on Fibre Composites, High Performance Concretes and Smart Materials, 8-10 s., Chennai.
- Gedik, G., Avin  , O. O., Yavaş, A., 2010. Kenevir lifinin özellikleri ve tekstil endüstrisinde kullanımıyla sağladığı avantajlar. *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4, (3), s39-48.
- Gedik, G., 2012. Kenevir Liflerinden   retilen Kumaşların Optimum Ağartma Koşullarının ve Yöntemlerinin Belirlenmesi. (Yüksek Lisans Tezi), Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 97s., Pamukkale.
- Gizlenci,   ., Acar, M., Yi  en   ., Ayt  , S., 2019. Kenevir Tarımı. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, TAGEM Karadeniz Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, 66 s., Samsun.

- Iucolano, F., Boccarusso, L. ve Langella, A., 2019. Hemp as eco-friendly substitute of glass fibres for gypsum reinforcement: Impact and flexural behaviour. *Composites, Part B*, 175: 107074.
- Jami, T., Karade, S.R., Singh, L.P., 2019, A review of the properties of hemp concrete for green building applications, *Journal of Cleaner Production* 239, 117852
- Karaca, B., Karaboğa, D. V., 2017. XVI. Yüzyılda Diyarbakır Eyaletinde Sınai Bitkileri Üretimi. *Alinteri Dergisi*, 1 (1), 17-33, Kastamonu.
- Karahan, O., 2006. Liflerle Güçlendirilmiş Uçucu Küllü Betonların Özellikleri. (Doktora Tezi), Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 272s., Adana.
- Karaman, S., Şahin, S., İbrahim, Ö., Pabuçcu, K., 2006. Ağaç Yapağı ve Pomza Katkılı Alçı Kompozitlerin Tarımsal Yapılarda Kullanılabilme Olanaklarının Araştırılması. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 11 (1), 75-82., Bursa.
- Karaman, S., 2007. Tarımsal Yapılarda Kullanılan Hafif İnşaat Malzemeleri, *Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 11 (1), s.63-69, Şanlıurfa.
- Karşın, N., 2022. Kenevirin Yapı Malzemesi Olarak Beton Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması (Yüksek Lisans Tezi), Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 53.s., Van.
- Kaya, H., 2016. Ardahan ili andezit-bazaltik kırmataş agregaların beton yapımında kullanılabilirliğinin araştırılması. (Yüksek Lisans Tezi), Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı, 94s.Tokat.
- Kaynak, B., 2022. Kenevir bitkisi atıklarının ısı yalıtım malzemesi olarak kullanılabilirliğinin incelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi), Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 51s., Konya,
- Kozak, M., 2013. Çelik Lifli Betonlar ve Kullanım Alanlarının Araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknik Bilimler Dergisi, 3(5), 26-35, Isparta.
- Kurt, G., 2006. Lif İçeriği ve Su/Çimento Oranının Fibrobetonun Mekanik Davranışına Etkileri. (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 97s., İstanbul.
- Li, Z., Wang, X., Wang, L., 2006. Properties of hemp fibre reinforced concrete composites. *Composites: Part A* 37, 497–505.
- Manan, M. A., Ganapathy, C., 2002. Engineering properties of concrete with oil palm shells as coarse aggregate, *Construction Building Material*, 16, 1, 29–34.
- Maraşlı, M., 2019. Cam Lifi Takviyeli Betonlarda Olgunluk İndeksi Yöntemi İle Eğilme ve Basınç Dayanımlarının Tahmin Modelinin Geliştirilmesi. (Yüksek Lisans Tezi), Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kompozit Malzeme Teknolojileri Anabilim Dalı, 219s., Düzce.

- Memiş, S. ve Örüng, İ., 2012. Öğütülmüş Atık Plastik (PET) Katkılı Sıvaların Tarımsal Yapılarda Kullanılabilirliği. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 29, (2), 19-27 s., Tokat.
- Mujadidi, M. Y. A., 2020. Cam Lifi Kullanımının Betonun Mekanik Özelliklerine ve Korozyon Dayanıklılığına Etkisi. Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 97s., Kütahya.
- Neville, A.M., 2012. Properties of Concrete, fifth ed. Pearson Education.
- Özdemir, B., 2019. Doğal/sentetik lif ve uçucu kül katkıli killerin bazı geoteknik özelliklerinin araştırılması. (Yüksek Lisans Tezi), Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 116s., Erzurum.
- Özyurt, N., Taşdemir, M. A. ve Shah, S. P., 2006. Lif Donatılı Çimento Esaslı Kompozitlerde, Lif Dağılımının Elektriksel Bir Yöntem İle Tahribatsız Ölçümü. İstanbul Teknik Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 5, (4), s. 119–130, İstanbul.
- Postacıoğlu, B., 1987. Beton-Bağlayıcı Maddeler, Agregalar. Beton, Cilt 2, Teknik Kitaplar Yayınevi, 404 s., İstanbul.
- Serin, S., Macit, M. E., Çınar, E. C., Çelik S., 2018. Doğal Kenevir Lifi Kullanımının Asfalt Beton Karışımlara Etkisi. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 6: 732-744., Düzce.
- Sinka, M. and Korjakins, A., Sahmenko, G., 2014. Mechanical properties of pre-compressed hemp-lime concrete. Journal of Sustainable Architecture and Civil Engineering., 3 (8), 92-99.
- Sinka, M. and Bajare, D., Korjakins, A., Radina, L., Sahmenko, G., 2015. Enhancement of lime-hemp concrete properties using different manufacturing technologies, First International Conference on Bio-based Building Materials., 8., Letonya.
- Sonebi, M., Wana, S., Amziane, S., Khatib, J., 2015. Investigation of the mechanical performance and weathering of hempconcrete. Academic Journal of Civil Engineering, 33: 416-421.
- Şahmaran, M., Yurtseven, A. ve Özgür Yaman, I., 2005. Workability of Hybrid Fiber Reinforced Self-Compacting Concrete. Building Environment, 40, (12), s. 1672–1677.
- Şimşek, N., 2021. Kenevir Lifi, Keçi Kılı ve Polipropilen Elyaf Katkılı Horasan Harcının Özelliklerinin Araştırılması.(Yüksek Lisans Tezi, basılmamış). Kırklareli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırklareli, 117s.
- TS ISO 8301, 2002. Isı yalıtımı - Kararlı halde ısı direncin ve ilgili özelliklerin tayini - Isı akış tayini için metotlar,Türk Standartları Enstitüsü, 46s., Ankara.
- TS EN 12667, 2003. Yapı malzemeleri ve mamullerinin ısı performans-Mahfazalı sıcak plaka ve ısı akış sayacı metotlarıyla ısı direncin tayini-Yüksek ve orta ısı dirençli mamuller, Türk Standartları Enstitüsü, 47s., Ankara.
- TS 706 EN 12620+A1, 2009. Beton agregaları, Türk Standartları Enstitüsü, 50s., Ankara.

- TS EN 12664, 2009. Yapı malzemeleri ve mamulleri - Isıl direncin, korumalı tablalı ısıtıcı ve ısı akı ölçerin kullanıldığı metotlarla tayini - Isıl direnci orta ve düşük seviyede olan kuru ve rutubetli mamuller, Türk Standartları Enstitüsü, 58s., Ankara.
- TS 3323, 2012. Beton - Basınç deney numunelerinin hazırlanması, hızlandırılmış küre tabi tutulması ve deneyleri, Türk Standartları Enstitüsü, 16 s., Ankara.
- TS EN 197-1, 2012. Çimento- Bölüm 1: Genel çimentolar-Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri. Türk Standartları Enstitüsü, 29s., Ankara.
- TS EN 933-1, 2012. Agregaların geometrik özellikleri için deneyler bölüm 1: Tane büyüklüğü dağılımı tayini- Eleme metodu, Türk Standartları Enstitüsü, 18s., Ankara.
- TS EN 196-2, 2013. Çimento deney yöntemleri - Bölüm 2: Çimentonun kimyasal analizi, Türk Standartları Enstitüsü, 67s., Ankara.
- TS ISO 3310-2, 2015. Deney elekleri -Teknik özellikler ve deneyler - Bölüm 2: Delikli metal plakalı deney elekleri, Türk Standartları Enstitüsü, 19s., Ankara.
- TS 802, 2016. Beton karışım tasarımı hesap esasları, Türk Standartları Enstitüsü, 43s., Ankara.
- TS 2511, 2017. Taşıyıcı hafif betonların karışım hesap esasları, Türk Standartları Enstitüsü, 17 s., Ankara.
- TS 1247, 2018. Beton yapım, döküm ve bakım kuralları (Normal hava koşullarında), Türk Standartları Enstitüsü, 34 s., Ankara.
- TS ISO 3310-1, 2019. Deney elekleri-Teknik özellikler ve deneyler - Bölüm 1: Metal tel örgülü deney elekleri, Türk Standartları Enstitüsü, 34 s., Ankara.
- TS EN 12350-2. 2019. Beton-Taze beton deneyleri - Bölüm 2: Çökme (slump) deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, 13s., Ankara.
- TS EN 12350-6, 2019. Beton-Taze beton deneyleri - Bölüm 6: Birim hacim kütlesi, Türk Standartları Enstitüsü, 16s., Ankara.
- TS EN 12390-2, 2019. Beton-Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 2: Dayanım deneylerinde kullanılacak deney numunelerinin hazırlanması ve küre tabi tutulması, Türk Standartları Enstitüsü, 11s., Ankara.
- TS EN 12390-3, 2019. Beton-Sertleşmiş beton deneyleri-Bölüm 3: Deney numunelerinin basınç dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, 23s., Ankara
- TS EN 12390-4, 2019. Beton-Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 4: Basınç dayanımı- Deney makinelerinin özellikleri. Türk Standartları Enstitüsü, 19s., Ankara.
- TS EN 12390-6, 2019. Beton-Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 6: Deney numunelerinin yarmada çekme dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, 13s., Ankara.
- TS EN 12390-7, 2019. Beton-Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 7: Sertleşmiş betonun birim hacim kütlesinin tayini, Türk Standartları Enstitüsü, 15s., Ankara.

- TS EN 1097-2, 2020. Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler bölüm 2: Parçalanma direncinin tayini için metotlar, Türk Standartları Enstitüsü, 46s., Ankara.
- TS EN 206+A2, 2021. Beton-Özellik, performans, imalat ve uygunluk, Türk Standartları Enstitüsü, 105s., Ankara.
- TS EN 12504-4, 2021. Yapılarda beton deneyleri - Bölüm 4: Ultrasonik atımlı dalga hızının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, 20s., Ankara.
- TS EN 1097-6, 2022. Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler - Bölüm 6: Tane yoğunluğunun ve su emme oranının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, 64s., Ankara.
- Tran Le, A.D., Maalouf, C., Mai, T.H., Wurtz, E., 2009. Study of the transient behaviour of a hemp concrete building envelope. Building., Simulation. Eleventh International IBPSA Conference, Glasgow, Scotland, July 27-30.
- Tutmaz, Ş., İ., 2009. Tokat İli Merkez İlçesindeki Doğal Agrega Kaynaklarının Beton Aagregası Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi. Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, 86s., Tokat.
- Uysal, H., Demirboğa, R., Şahin, R. ve Gül, R., 2004. The effects of different cement dosage and pumice aggregate rations on The thermal conductivity and density of concrete. Cement and Concrete Research, Elsevier, 34, p845-848.
- Ünal, O., Uygunoğlu, T. ve Gençel, O., 2007. Çelik Liflerin Beton Basınç ve Eğilme Özelliklerine Etkisi. Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Bilim Dergisi, 13, (1), s.23-30.
- Walker, R., Pavia, S., Mitchell, R., 2014. Mechanical properties and durability of hemp-lime concretes. Constr. Build. Mater. 61, 340e348.
- Wambua, P., Ivens, J. & Verpoest, I., 2003. Natural fibres: can they replace glass in fibre reinforced plastics?. Composites science and technology, 63, p.1259–1264.
- Yalçın, K., 2020. Poli-Propilen Elyaf Katkılı Betonarme Döşemelerde Geliştirilen Deneysel Tasarım Modeli İle Aderans Boyunun Belirlenmesi. (Yüksek Lisans Tezi), Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 83s., Erzincan.
- Yazıcı, H., 2022. <http://halityazici-deu.com/dersler/ozel-betonlar/> (03.12.2022).
- Yıldız, S. ve Ulucan, Z. C., 2008. Beton Borularda Cam Lif Katkısının Tepe Yük Dayanımına Etkisinin Araştırılması. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 23, (2), s.267–271, Ankara.
- Yılmaz, F. ve Yazıcı, L., 2022. Dünya’da Yükselen Değer; Endüstriyel Kenevir (Cannabissativa L.), Bozok Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi., 1 (1), 54-61.
- Zollo, R. F., 1997. Fiber-Reinforced Concrete: An Overview after 30 years of Development, Cement and Concrete Composites, 19, s.107-122.
- Zuo, J., 2014. Hemp In Construction. Faculty of Architecture & the Built Environment, Delft University of Technology Julianalaan, 134: 2628.

ÖZGEÇMİŞ

