



Geleneksel Kerpiğin Katkı Maddeleri ile Özelliklerinin İyileştirilmesi Üzerine Bir İnceleme

A Study on Improving the Properties of Traditional Adobe with Additives

Seda Kalkan ^{1*}, Nihan Engin ²

¹Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Tokat, Türkiye

²Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Trabzon, Türkiye

Başvuru/Received: 14/03/2024. *Kabul/Accepted:* 06/05/2024. *Çevrimiçi Basım/Published Online:* 30/06/2024

Son Versiyon/Final Version: 30/06/2024

Öz

Kerpiç, doğal bir yapı malzemesi olarak geçmişten günümüze kullanılmış, ancak sanayi devriminin getirdiği teknoloji ile birlikte yapı sektöründeki önemini zamanla kaybetmiştir. Günümüz yapı malzemelerinin inşa sürecindeki çeşitli avantajlarına rağmen, geri dönüşüm, sürdürülebilirlik, enerji gibi kavramlar çerçevesinde neden oldukları çeşitli problemler, doğal özellikleri ile geleneksel yapı malzemelerini yeniden gündeme getirmiştir. Kerpiç de doğal özellikleri bağlamında öne çıkan ve gelişen teknolojiyle beraber mevcut özellikleri iyileştirilerek günümüzde yeniden değerlendirilen yapı malzemelerinden biridir. Bu çalışmada geleneksel kerpiç harcına katılan katkı maddeleri ve etkileri üzerine literatür çalışmaları incelenmiştir. Geleneksel kerpiç harcına katılan katkı maddelerinin kerpiğin mekanik özelliklerinden basınç dayanımına; fiziksel özelliklerinden ise su ve neme karşı dayanımı, su emme oranı, birim hacim ağırlığı ve kürlenme süresi parametreleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Geleneksel kerpiğin bu parametrelerdeki özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla yapılan literatür çalışmaları, makale kapsamında “bağlayıcı katkı maddesi üzerine iyileştirme çalışmaları” ve “lif katkısı üzerine iyileştirme çalışmaları” başlıklarında analiz edilerek değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda farklı katkı maddelerinin kerpiçte farklı parametreleri etkilediği, katkı maddelerinin harcın içindeki oranının değiştirilmesinin parametreler üzerindeki etkisini de değiştireceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler

“Kerpiç, kerpiç yapılar, geleneksel kerpiç malzeme, modern kerpiç malzeme”

Abstract

Adobe has been used as a natural building material from the past to the present, but with the technology brought by the industrial revolution, it has lost its importance in the building sector over time. Despite the various advantages of today's building materials in the construction process, the various problems they cause within the framework of concepts such as recycling, sustainability and energy have brought traditional building materials with their natural properties back to the agenda. Adobe is one of the building materials that stands out in the context of its natural properties and has been reevaluated today by improving its existing properties with the developing technology. In this study, literature studies on additives added to traditional adobe mortar and their effects were examined. The effects of the additives added to the traditional adobe mortar on the compressive strength of adobe from mechanical properties and on the water and moisture resistance, water absorption rate, unit volume weight and curing time parameters from physical properties were investigated. The literature studies conducted to improve the properties of traditional adobe in these parameters were analyzed and evaluated under the titles of "improvement on binder additive" and "improvement on fiber additive" within the scope of the article. As a result of the evaluation, it was seen that different additives affect different parameters in adobe, and changing the ratio of additives in the mortar will change the effect on the parameters.

Key Words

“Adobe, adobe structures, traditional adobe material, modern adobe material”

1. Giriş

İnsanoğlu tarihsel süreç içerisinde bulunduğu çevreyi ihtiyaçları doğrultusunda en kolay, doğal ve ekonomik olacak şekilde çevresindeki yerel malzemeleri kullanarak yapılandırmıştır. Yerleşik hayatın başlangıcından beri kullanılagelen bu yerel malzemelerden biri de kerpiçtir. Oldukça eski bir tarihe dayanması ve bugün dünya nüfusunun %40'ının kerpiç yapıda yaşamasına (Akbaş, Aslan, ve Arpacıoğlu, 2022) rağmen, teknolojik gelişmelerin beraberinde getirdiği çağdaş yapı malzemelerine yenik düşen kerpiç, endüstri devrimiyle birlikte yerini günümüz yapı malzemelerine bırakmıştır. Fakat günümüz yapı sektörünün enerji tüketimi, çevre kirliliği ve iklim değişikliğindeki büyük payı, doğal yapı malzemelerini tekrar gündeme taşımıştır. Bu doğal malzemelerden biri olarak kerpiç, yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak üretilmesi, atmosfere zararlı gaz salınımı yok denecek kadar az olması, geri dönüşüm sağlaması (Çavuş, Dayı, Uslu, ve Aruntaş, 2015) gibi özellikleri ile dikkat çekmiş, geleneksel özelliklerinin geliştirilerek günümüzde yeniden kullanılması üzerine çalışmalar başlatılmıştır.

Genel olarak pişmemiş toprak ile yapılan tüm yapıları ifade eden kerpiç, çeşitli kaynaklarda; “su ile balçık haline konulmuş toprağın samanla karışık olarak tahta kalıplara dökülmesi ve güneşte kurutulmasından elde edilen çığ tuğlalar” (Arseven, 1956), “balçıktan yapılan ve kalıplanarak güneşte kurutulan çığ tuğla” (Hasol, 1979), TS 2514'e göre ise “killi ve uygun nitelikte toprağın içine saman ve diğer bitkisel lifler veya diğer katkı maddeleri karıştırılıp su ile yoğrulup kalıplara dökülerek şekillendirmek ve açık havada kurutmak suretiyle elde edilen ve inşaatla kullanılabilir hale gelen mamuller” (TSE, 1977) şeklinde tanımlanmaktadır.

Neolitik dönemin başlangıcı olan M.Ö. X. bin yıllara dayanan kerpiç kullanımı (Stevanović, 1997) ilk olarak Mezopotamya'da başlamış, Avrupa kıtasındaki ilk kullanımı ise Almanya'da görülmüştür (Minke, 2006). Kıbrıs'ta da kerpicin yapı malzemesi olarak kullanımı yine tarih öncesi çağlardan başlayarak 20. yy. ortalarına kadar devam etmiştir (Illampas, Ioannou, ve Charmpis, 2009). Dünyanın birçok yerinde yapı malzemesi olarak kullanılan kerpiç en çok Anadolu, Orta Asya, Orta ve Güney Amerika ve Afrika'da bulunmaktadır (Yavaş, 2021). Şekil 1'deki haritada kerpicin dünya üzerindeki dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 1. Kerpiç kullanımının dünya üzerindeki dağılımı (Blondet, Garcia, Brzev, ve Rubiños, 2003)

Uzakdoğu'da savunma amaçlı güçlü Çin Seddi duvarı ve Van Kalesi kerpiçten inşa edilmiş olup (Url-1) Yemen'de çoğu 5-10 kat arasında değişen yapılar 30 metreyi bulan yükseklikleri ile dünyanın en yüksek kerpiç yapılarını oluşturmuştur (Yavaş, 2021) Şekil 2'de Yemen'in Sana bölgesinde bulunan yüksek katlı kerpiç yapılar gösterilmiştir.



Şekil 2. UNESCO tarafından korunan Yemen/Sana bölgesindeki yüksek katlı kerpiç yapıları (Url-2)

Zaman içinde değişen ekonomik koşullar, enerji krizi ve artan çevre problemlerine karşı sürdürülebilir yapı malzemesi arayışının artması kerpiç yapı malzemesinin mimaride yeniden kullanılmasını gündeme getirmiştir. Kerpiç ilkel bir yapı malzemesi gibi görünmesine karşın son yıllarda özelliklerinin iyileştirilerek yeniden kullanılmasına yönelik çalışmalar kerpicin modern yapı malzemeleri kategorisinde yerini alması gerektiğinin bir kanıtıdır. Modern kerpiç olarak adlandırılan bu yapılara dünyada Almanya'nın Berlin eyaletindeki Uzlaşma Şapeli, Kanada'nın güneyindeki Çöl Kültür Merkezi, Çin'in Gansu eyaletine bağlı Macha köyü konutları örnek olarak verilebilir. Şekil 3'te dünyadan örnek verilebilecek modern kerpiç yapılar gösterilmiştir.



Şekil 3. Uzlaşma şapeli (a, b), Çöl Kültür Merkezi (c, d), Maçka Köyü konutları (e, f, g) (Url-3; Url-4; Url-5)

Türkiye’de ise 2011 yılında Konya’da inşa edilen 30 haneli Şükran Köyü, Şanlıurfa’da 2018 yılında inşa edilen Göbeklitepe Ziyaretçi ve Canlandırma Merkezi, İstanbul’da bulunan Cengiz Bektaş tarafından tasarlanan modern at çiftliği yapısı ve Elazığ’da inşa edilen Kadın Eğitim ve Üretim Merkezi modern kerpiç yapılara örnek olarak verilebilir. Şekil 4’te Türkiye’den örnek verilebilecek modern kerpiç yapılar gösterilmiştir.



Şekil 4. Şükran Köyü konutları (a, b), Göbeklitepe Ziyaretçi ve Canlandırma Merkezi (c), At çiftliği (d), Kadın Eğitim ve Üretim Merkezi (f) (Url-6; Url-7; Url-8; Url-9)

Bu çalışma geleneksel kerpiç harcına katılan katkı maddelerini ve bu katkı maddelerinin etkilerini literatür çalışmaları yoluyla incelemeyi amaçlamaktadır. Geleneksel kerpiç harcına katılan katkı maddelerinin incelenmesi, bu malzemenin özelliklerinin iyileştirilmesi ve modern yapı malzemeleriyle rekabet edebilir hale getirilmesi açısından önemli bir adım olacağı düşünülmektedir. Literatür çalışmalarıyla bu katkı maddelerinin etkilerini incelemek hem geçmişteki uygulamaları değerlendirmeyi sağlayacak hem de gelecekteki araştırmalar için yol gösterecektir. Geleneksel kerpiç malzemesinin çeşitli katkı maddeleriyle güçlendirilerek modern yapı malzemeleri arasındaki yerini alması, geleneksel bilgi ile çağdaş teknolojiyi birleştirerek sürdürülebilir yapı sektörüne önemli katkılar sunacağı düşünülmektedir. Bu bağlamda çalışmanın konuyla alakalı farkındalığı artırması ve ilgili paydaşlara yol göstermesi beklenmektedir.

2. Kerpiç Harcı Üretimi

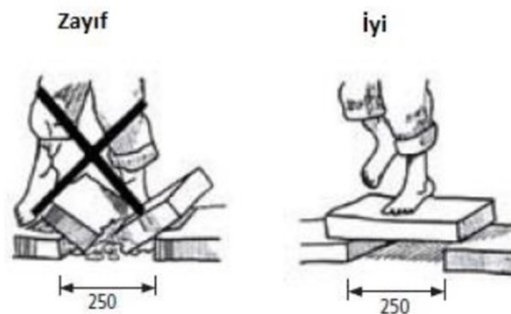
Kerpiç toprağı kil, silt ve kum olmak üzere üç bileşenden meydana gelir (Rosen, 1986). Kerpiç harcına katılan toprak 3 cm'den büyük taşlardan arınmış olmalı ve yaklaşık %40'ı 0,063 mm elekten geçirilmelidir. Kerpiç toprağı organik madde içermemesi gerektiği için TSE'ye göre toprak, zemin yüzeyinin en az 60 cm altından alınmalıdır (TSE, 1977). Zemin yüzeyinin yaklaşık 60 cm altından alınan toprakta önemli olan kil oranıdır. Çünkü kerpiç toprağındaki fazla kil büzülme ve çatlamalara (rötre çatlağı) neden olurken fazla kum da tanelerin birleşmesini engeller (Kılınçkale ve Tuna, 2013). Türkçü (2000) en iyi kil/kum oranının yaklaşık 1/5 olduğunu söylemiştir (Türkçü, 2000). Bununla birlikte literatürdeki çalışmalarda çeşitli karışım oranları önerilmekte ve TS 2514'te en uygun kil oranının toplam karışımın %30-%40'ı olduğu belirtilmektedir (TSE, 1977).

Kil, kerpiçte dayanım sağlamakla birlikte kuruma esnasında çatlak oluşumuna da neden olur. Kerpiç harcının kuruma sırasında oluşabilecek çatlaklar bünyesine saman gibi lifli malzemeler katılarak kontrol altına alınmalıdır (Zami ve Lee, 2010). Saman genellikle 3-5 cm bölünerek karışıma eklenir (Bozyel, 2021). Literatürde kerpiç harcına farklı uzunluklarda eklenen lifin harçtaki davranışlarının aynı olmadığı deneysel çalışmalarla kanıtlanmıştır. Uygun kerpiç toprağı ve samanın belirlenen oranlarda harç haline gelmesi için ise su ile karılması gerekmektedir. Kullanılacak suda yağ, çürümüş madde, tuz miktarı kabarma yapacak oranda olmamalıdır (TSE, 1977). Şekil 5'te geleneksel kerpiçin hazırlanışı gösterilmiştir.



Şekil 5. Kerpiç tuğlası yapımı (Url-10)

Geleneksel kerpiç üretimi için genellikle yağmur suyundan korunan yerde ve çok sıcak olmayan günler tercih edilmektedir. Literatürde laboratuvar ortamında kurutulan kerpiçler için genellikle oda sıcaklığı tercih edilmiş olup 10-50 °C'lik etüvde kurutulan çalışmalar da mevcuttur. Türkiye'de kerpiç yapımı için mevsim olarak genellikle Mayıs – Ekim ayları arası uygundur. Kerpiç toprağı saman ve su ile homojen şekilde karıştırıldıktan sonra ahşap kerpiç kalıbına doldürülür ve sıkıştırılır. Kalıptan çıkarılabilecek mukavemeti kazanan kerpiçler birkaç gün de düşey konumda kurutulup kullanıma hazır hale getirilir. TS 2514'e göre en düşük kerpiç basınç dayanımı 8 N/mm² den az olmamalıdır (TSE, 1977). Şekil 6'da kerpiç blokların basınç dayanımı üzerine saha deneyi gösterilmiştir.



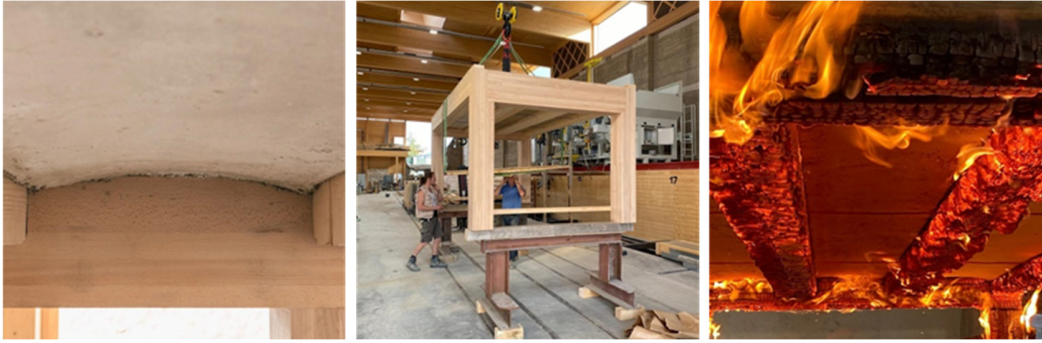
Şekil 6. Kerpiç blok basınç dayanımı saha deneyi (TSE, 1977).

3. Kerpiç Yapı Malzemesinin Avantajları ve Dezavantajları

3.1. Avantajları

Günümüzde sürdürülebilir yapı malzemeleri inşaat sektörünün kilit göstergesi haline almıştır. Dünya hem yapım aşamasında hem de kullanım ömrü boyunca az enerjiye ihtiyaç duyan, ekonomik ve hızlı üretime dayanmaktadır. Kerpiç yapı malzemesi bu açıdan incelenecek olursa;

- Çevreye duyarlı, sürdürülebilir ve biyolojik açıdan parçalanabildiği için beşikten beşiğe ilkesine uygundur.
- Üretim, kullanım ve tüketim aşamasında en az enerji sarf eden yapı malzemesidir. Örneğin 1m³ beton üretiminde 300-500 kWh kadar enerji harcanırken aynı miktarda kerpiç üretmek için harcanan enerji bunun % 1'i kadardır (Işık, 2003).
- Tesis kurulmadan da üretim yapılabilir.
- Kerpiç duvarların üstün yalıtım özellikleri doğrultusunda kışın daha az yapay ısıtma, yazın ise daha az soğutma ihtiyacı duyarak enerji tasarrufu sağlamaktadır (Obafemi ve Kurt, 2016).
- Yıllık karbon emisyonu oranı sayesinde, kerpiç yapılar sıfır karbon ayak izine sahiptir (Obafemi ve Kurt, 2016).
- Kerpiç insan sağlığını tehdit eden unsurları bünyesinde barındırmamaktadır (Akbaş vd., 2022).
- Yüksek ısı ve ses yalıtımı sağlamaktadır. Bu yönüyle ayrıca bir yalıtım malzemesine ihtiyaç duyulmadığı için ekonomiktir (Benghida, 2015; Özgünler ve Gürdal, 2012).
- Kerpiç hamurunun gözenekli yapısı havadaki nemi depolar ve iç mekânın nemini dengede tutarak yapıdaki iç hava konforunu düzenlemektedir (Çavuş vd., 2015).
- Çok iyi bir yangın dayanımına sahiptir. Avusturya'da 30 cm kalınlığında bir dövme kerpiç duvara yapılan yangın testi sonucu duvarın 240 dakika yapısal bütünlüğü koruduğu görülmüştür (Dobson, 2000). Şekil 7'de toprak döşemeye uygulanan yangın testi gösterilmiştir.



Şekil 7. Toprak blokla inşa edilen döşemede yangın testi (Url-11)

3.2. Dezavantajları

- Kerpiç çatlamaya yatkın bir yapıya sahiptir (Warren, 1999). Çatlakların önüne geçmek için genellikle harca lifli katkıları eklenir.
- Geleneksel kerpiç üretimi açık hava koşullarında yapıldığı için mevsimsel ve ortam kısıtlılığı vardır.
- Geleneksel kerpiç üretiminde kerpicin kuruma süresi zamandan kayıptır.
- Kerpicin basınç, su ve depreme karşı dayanımı düşüktür (Gürbüz, 2005).
- Birim hacim ağırlığı yüksektir.
- Kerpiç yapılar hemen her yıl onarıma ihtiyaç duymaktadır.

Yapım malzemesi olarak kerpicin tekrar kullanımının yaygınlaşması ve kerpicin zayıf yönlerinin iyileştirilmesi üzerine literatürde çeşitli çalışmalar bulunmaktadır.

4. Katkı Maddeleri Kullanılarak Yapılan İyileştirme Çalışmaları

Geleneksel kerpiç harcı yapısı gereği, aşınmaya, suya, darbelere karşı dayanımı düşüktür. Kerpicin zayıf yönlerinin iyileştirilmesi amacıyla harcına çeşitli katkı maddeleri eklenmektedir. Bu katkı maddeleri literatürdeki çalışmalardan yararlanılarak;

- Bağlayıcı madde katkısı
- Lif katkısı şeklinde sınıflandırılmıştır.

4.1. Bağlayıcı Katkı Maddesi Üzerine İyileştirme Çalışmaları

Kerpiç harcına kireç, alçı ya da puzolan olarak adlandırılan toprak tuğlası, uçucu kül, cüruf, silis dumani, gibi maddeler katılarak sağlaştırılması amaçlanmıştır. Literatürdeki bu çalışmalar aşağıdaki verilmiştir:

Kafesçioğlu vd. (1980) tarafından İTÜ Mimarlık Fakültesinde TÜBİTAK projesi kapsamında hazırlanan çalışmada kerpiç harcına çeşitli oranlarda alçı ilave edilmiş ve en iyi sonucu %10 alçı katkısı sağlamıştır. Alker olarak adlandırılan bu yeni malzemenin geleneksel kerpiçe göre daha hızlı priz aldığı, su dayanımının arttığı ve basınç değerinin 35-50 kgf/cm²'ye çıkararak daha fazla olduğu sonuçlarına varılmıştır.

Baradan (1995) çalışmasında kerpiç harcına kireç ve uçucu kül ile birlikte değirmende öğütülmüş tuğla ve kiremit atıklarını ilave ederek basınç dayanımı yüksek kerpiç elde etmiştir.

Elizabeth ve Adams (2000) 'Alternative Construction' adlı kitabın «Adobe» bölümünde kerpicin bitüm ile stabilizasyonunun yapılmasıyla nem ve su hasarlarının önüne geçildiğinden bahsetmektedir.

Almaç (2002) çalışmasında kerpiç harcına alçı bazlı hazır sıva ilave ederek kerpiç yapılarda onarım harcı olarak kullanılmasını amaçlamıştır. Deneysel sonuçlarına göre alçı bazlı hazır sıva 4.5 kgf/cm² basınç dayanımı göstererek kürlenme ve alt tabakaya yapışması açısından olumlu sonuçlar vermiştir.

Değirmenci (2005) çalışmasında; kerpiç harcına kireçle birlikte endüstriyel atık olan fosfoalçı ve uçucu kül ilave etmiş, deneysel çalışmalar sonucunda katkısız kerpice kıyasla su emme oranının düştüğü ve basınç dayanımını 38.5 kgf/cm²'ye kadar arttığı gözlenmiştir. Fakat fosfoalçı suya karşı dayanımı bir miktar düşürdüğü için düşük oranlarda kullanılması tavsiye edilmektedir.

Gürfidan (2006) çalışmasında; alker harcına çeşitli oranlarda yüksek fırın cürufu ilave etmiş ve %30 oranındaki yüksek fırın cürufu ilavesi su emme oranını düşürmüş olup %10 oranındaki yüksek fırın cürufu ilavesi 14.3 kgf/cm²'ye basınç dayanımı sağlayarak olumlu özellik göstermiştir.

Kıvrak (2007) çalışmasında; samanla karıştırılmış kerpiç harcına farklı oranlarda silis dumanı eklemiş ve deneysel çalışmalar sonucunda silis dumanı katkılı kerpicin 17.5 kgf/cm² basınç dayanımı gösterdiği, suya dayanım ve birim hacim kütlesi açısından katkısız kerpice oranla olumlu sonuç verdiği görülmüştür.

Çakır (2010) çalışmasında; kerpiç yapıların dış yüzeyini korumak amaçlı kireç katkılı harca doğal puzolan olan volkanik tüf ilavesi yaparak sıva harcı elde etmiştir. Sıva harcına eklenen volkanik tüf sadece kireç katkılı harca oranla daha üstün mukavemet ve su dayanımı göstermiştir olup 26.3 kgf/cm² basınç dayanımı elde edilmiştir.

Çelik vd. (2012) çalışmalarında; kerpiç harcına çimento ve silis dumanı ilave etmiş ve deneysel çalışmalar sonucunda silis dumanı katkısının kerpiçte basınç ve suya karşı dayanımı artırdığı gözlenmiştir.

Andrejkovičová vd. (2015) çalışmalarında; kerpiç harcına hava kireci, doğal kil olan bentonit ve metakaolin malzemesi eklenmiş olup deneysel çalışmalar sonucunda üretilen yeni kerpiç harcının olumsuz dış hava koşullarına oldukça dayanıklı bir yapı malzemesi olduğu gözlenmiştir.

Lokeshwari ve Jagadisk (2016) çalışmalarında; kerpiç harcına granit plakalarının kesip parlatılması sonucu ortaya çıkan tozun ürettiği atık çamur ile çimento ilave etmiş ve deneysel çalışmalar sonucunda üretilen yeni kerpiç blokların 103.1 kgf/cm² ile basınç dayanımının arttığı gözlenmiştir.

Balkis vd. (2017) çalışmalarında; alker harcına polipropilen lif ve atık mermer tozu ilave etmiş ve deneysel çalışmalar sonucunda ağırlıkça %0.5 polimer lif ve %10 mermer tozu optimum değerler olarak belirlenmiş olup maximum basınç dayanımı 35.1 kgf/cm² ölçülerek alkerden daha iyi mekanik performans gösterdiği gözlenmiştir.

Saqr Sayed (2020) çalışmasında sıkıştırılmış toprak blok üretiminde harca ayrı ayrı ve kombine olarak alçı, kireç, çimento katkısı ilave etmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda en iyi mukavemeti 81.5 kgf/cm² ile çimento katkılı kerpiç göstermiştir ve bir haftalık kür süresi yeterlidir. %10 alçı katkılı numune ile %10 alçı + %2 kireç katkılı numune arasında mukavemet farkı yoktur. Çimento ile diğer katkıların birlikte kullanılması kerpiç harcındaki çimento oranını azaltmaya yardımcı olduğu görülmüştür.

Demirtaş (2020) çalışmasında Konya geleneksel evlerinin restorasyonunda kullanmak üzere kerpiç harcına kireç, alçı, çimento, yün ilave etmiş ve deneysel çalışmalar sonucunda kireç ve yün katkılı kerpicin üstün performans sağlaması nedeniyle restorasyon harcı olarak kullanılması önerilmiştir.

Leblebecier ve Akıncı (2021) çalışmasında; kerpiç harcına %3 organik lif keten, %6 pomza, %10 alçı, %2 sönmüş kireç ve %10 volkanik tüf ilave ederek sürdürülebilir yalıtım malzemesi elde etmeyi amaçlamıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda termal iletkenlik katsayısı (0.44 W/m²K<0.50 W/m²K) UD değerinden küçük çıktığı için Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardında soğuk iklim bölgeleri için tavsiye edilen ısı yalıtım şartlarını sağladığı ortaya konmuştur.

Muñoz vd. (2021) çalışmalarında; kerpiç harcına toprağın %20 si kadar biyokütle atığı (külü) eklenmiş ve deneysel çalışma sonuçlarına göre külün düşük malzeme yoğunluğu dolayısıyla kerpiç tuğlasının kütle ağırlığında azalma olmuş, kül katkılı kerpiç tuğlalar basınç dayanımında ciddi bir artış olmamasına (25.4-38.7 kgf/cm²) karşın ısı iletkenliği ve yoğunluğu azalmıştır. Böylece daha yüksek yalıtımlı kerpiç tuğlaları elde edilmiştir.

Trang vd. (2021) çalışmalarında; su arıtma tesisinden açığa çıkan atık çamurun kerpiç tuğlası üretiminde kullanımının sağlanarak atığın değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Atık çamurdan oluşturulan kerpiç tuğlasının dayanıklılığını artırmak için harca uçucu kül, çimento, sıvı cam sodyum silikat ve polipropilen lif eklenmiştir. Oluşturulan yeni kerpiç tuğlaları Vietnam ulusal standarttaki değerleri sağlamıştır. Kerpiç tuğlalar hidrolik pres makinası yardımıyla delikli şekilde üretilmiştir. Ağırlıkça %50 çamur optimum agrega oranı olarak görülmüştür. %35 çimento, %15 uçucu kül optimum değerleri sağlamıştır. %0.5 pp lif de ürünün kırılabilirliği ve büzülmesinde etkili olmuş ve 40.74 kgf/cm² basınç dayanımı ölçülmüştür.

Hussain vd. (2022) çalışmalarında; nehir kenarından elde edilen atık çamurdan kerpiç tuğlası elde etmek amaçlamış ve harcın içine lif olarak kenevir ve palmye yağı çiçeği lifi eklenmiştir. Deneysel çalışma sonuçlarına göre yeni kerpiç tuğlaların basınç değeri Yeni Zelanda standartlarındaki 2.5 kgf/cm²'den fazla olduğu belirtilerek mukavemet özelliklerinin iyileştiği gözlenmiştir.

Morsy vd. (2022) çalışmalarında; kerpiç harcına biyokütle atığı olan pirinç samanı külü ve NaOH ilave ederek geopolimer kerpiç elde etmeyi amaçlamıştır. Deneysel çalışma sonuçlarına göre pirinç samanı külü 0'dan 20'ye doğru basınç dayanımını artırmış, su emilimini, yoğunluğunu ve termal iletkenliği azaltmıştır. NaOH 2.5'den 10'a doğru basınç dayanımını ve yoğunluğu artırmış, su emilimini azaltmış olup en yüksek basınç dayanımı 21.4 kgf/cm² ölçülmüştür

Boussaa vd. (2023) çalışmalarında; kerpiç harcına biyokütle atığı olan odun külü ilave etmiş ve deneysel çalışmalar sonucunda odun külünün düşük malzeme yoğunluğu dolayısıyla daha hafif kerpiç elde edilmiş, odun külü katkılı kerpiç tuğlalar basınç, suya karşı dayanım ve düşük termal iletkenlik göstererek olumsuz hava koşullarıyla karşı karşıya kalan dış ve iç duvarlarda kullanılabilirliği gözlenmiştir.

4.2. Lif Katkısı Üzerine İyileştirme Çalışmaları

Kerpice ilk kullanıldığı yıllardan beri sağlamlığını artırmak ve çatlama önlemek amacıyla samanla karıştırıldığı bilinmektedir. Lif katkısı kerpice dengeli kurumasını sağlayarak çatlakları önler ve basınç dayanımını artırmaktadır (Aktaş, 2020). Doğal lif olan saman, baklagiller ve buğdaygillerin kurutulmuş hali, hayvan kılı, ahşap lifi vb. dışında cam lifi, karbon lifleri ve polimer lifler de kullanılabilir (Aktaş, 2011). Literatürde lif katılarak kerpice özelliklerinin iyileştirilmesi amaçlanan çeşitli çalışmalar bulunmaktadır:

Binici vd. (2005) çalışmalarında çimento, bazaltik pomza, kireç ve alçı katkılı kerpiç harcına ayrı ayrı plastik fiber, saman ve polistren kumaş ilave etmiş ve deneysel çalışmalar sonucunda en iyi basınç dayanımı 52.0 kgf/cm² ile plastik fiber katkılı kerpice gözlenmiştir.

Yetgin ve Çavdar çalışmalarında; beş farklı kaynaktan alınan kerpiç toprağı ile farklı saman içeriğine sahip numuneler üretmiş ve yeni kerpiç blokların basınç dayanımının 23.4 kgf/cm²'ye kadar çıktığını belirterek mekanik özelliklerinin geliştiğini belirtmiştir.

Aktaş (2011) çalışmasında; deneysel çalışmalarla elde edilen uygun oranlarda alçı, kireç, NaOH ve doğal puzolan olan Datça toprağı ile hazırlanmış kerpiç harcına polipropilen lif katılarak kesit kalınlığı ile birim hacim kütlesi az olan panel duvar üretilme olanaklarını araştırmıştır. Deneysel çalışma sonuçlarına göre %1 oranında, 9 mm uzunluğunda lif katkısı ile katkısız kerpice göre daha ince kesitli, sağlam ve birim ağırlığı düşük kerpiç elde edilmiştir.

Gül (2011) çalışmasında; kerpiç harcına eklenen samanın bünyesine su çekmesi ile beraber kerpice dayanımını azaltması nedeniyle saman yerine cam lifi kullanmıştır. Ayrıca hava sürükleyici katkı da kullanarak malzemenin boşluklu yapısı sayesinde hem daha hafif bir kerpiç elde etmek hem de kerpicedeki kılcal kanallardan suyun ilerlemesi engellenerek suyun zararlarından korunmuştur. Cam lifi ve hava sürükleyici katkının birlikte kullanılması ve oranlarının artması basınç dayanımının 42.4 kgf/cm²'ye kadar artmasına neden olmuştur.

Aymerich vd. (2012) çalışmalarında kerpiç harcına 1-2-3 cm uzunlukta koyun yünü ilave etmiş ve deneysel çalışmalar sonucunda yün katkısının başlangıç elastik davranışı ve ilk çatlama mukavemetini etkilemediği fakat sonraki mukavemet davranışında olumlu özellik sergilediğini göstermiştir.

Millogo vd. (2014) çalışmalarında özel bir bitki türünü (Hibiscus Cannabinus) kerpiç harcına ağırlıkça %0.2-0.8 oranlarında ve 3-6 cm uzunluklarda ilave etmiş ve deneysel çalışmalar sonucunda lif katkılı kerpice gözeneklerinin küçülüp mekanik özelliklerinin iyileştiği ve yeni malzemenin ısı konfor sağladığı görülmüştür. Fakat lif katkısının ağırlığı ve boyunun artması basınç mukavemetini olumsuz etkilemiştir.

Aslan Pedernana (2015) çalışmasında; toprak bazlı yalıtım malzemesi harcında kullanılan saman yerine çam iğnesi kullanmış ve deneysel sonuçlara göre yalıtım performansı açısından samanla benzer özellik göstermiş, olumsuz hava koşullarına dayanımı ise daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

Milligo vd. (2015) çalışmasında; kenaf liflerini toprak karışımına kütlece %0.2 ile %0.8 aralığında değişen oranlarda ilave etmiş, liflerin toprakla iyi yapışması kerpiç bloklardaki çatlakların yayılmasını azaltmış, 72.3 kgf/cm² dayanımı ile mekanik özelliklerini geliştirmiş ve eğilme mukavemetini artırmıştır.

Binici vd. (2016) çalışmalarında kerpiç harcına alçı ve pomza ile beraber naylon atıklarından oluşan plastik fiber lif karıştırmış ve fiber lifli kerpiçlerin samanla karıştırılan kerpiçlere kıyasla daha elastik davranış sergileyerek enerji sönmemesi üzerine depreme karşı daha dayanıklı olduğunu göstermiştir.

Araya-Letelier vd. (2018) çalışmalarında; kerpiç harcına kütlece %0 ile %2 arasında değişen oranlarda Jüt lifi ilave etmiş ve deneysel çalışmalar sonucunda kerpiç blokların mukavemet özelliklerini artırdığı görülmüştür.

Elborgy (2019) çalışmasında; pirinç samanı yerine hurma yaprağını kerpiç harcına eklemiş ve deneysel çalışmalar sonucunda 50.0 kgf/cm² basınç dayanımı ve suya karşı dayanım açısından hurma yaprağı lifi katkılı kerpicingin daha üstün performans sergilediği görülmüştür.

Ouedraogo vd. (2019) çalışmasında; kerpiç harcına Fonio lifi kütlece %0.2 ile %1 aralığında değişen oranlarda ilave edilmiş ve kerpiç bloklardaki çatlaklar azalarak daha az kırılğan hale gelmiştir.

Babé vd. (2020) çalışmasında; kerpiç harcına kütlece %0 ile %4 arasında değişen oranlarda mısır lifi ilave edilmiş ve hazırlanan kerpiç blokların 66.2 kgf/cm² ile basınç dayanımı artmış, termal özellikleri de iyileştirmiştir.

Berkgil ve Ayaz (2020) çalışmasında; kerpiç harcına 6-12-19mm boy ve %0- 0.5- 1- 1.5 oranlarda polipropilen lif ilave etmiş ve deneysel sonuçlara göre polipropilen lif boyunun ve oranının artması kerpiçteki büzölmeleri ve birim hacim ağırlığını azaltmış, basınç dayanımını %44.93, eğilme ve hasar yükünü de % 250.05 oranına kadar artırmıştır.

Babé vd. (2021) çalışmasında; Neem ağaçlarından atık bir malzeme olarak ortaya çıkan neem liflerini %0 ile %4 aralığında değişen oranda kerpiç harcına ilave etmiştir. 66.2 kgf/cm² ile en yüksek basınç dayanımı sağlayan atık lifin kerpicingin mekanik ve termal özelliklerini güçlendirdiği görülmüştür.

Ige ve Danso (2021) çalışmasında; kerpiç harcına kütlece %0 ile %1 arasında değişen oranlarda muz lifi ilave etmiş, lif ilavesinin kerpiç blokların 17.9 kgf/cm² ile basınç ve gerilme dayanımını güçlendirdiği görülmüştür. Ayrıca lifler blokların termal özelliklerini de iyileştirmiştir.

Bouchefra vd. (2022) çalışmasında; Doum liflerini kerpiç harcına kütlece %0 ile %2 arasında değişen oranlarda ilave etmiş ve deneysel çalışmalar sonucunda Doum lifleri kullanımı kerpicingin mekanik ve termofiziksel özelliklerini geliştirmiştir.

Tiryaki (2022) çalışmasında; alker harcına ayrı ayrı koyun yünü ve cam elyaf ilave etmiştir. Deneysel sonuçlara göre koyun yünü ilave edilen alker 94.2 kgf/cm² dayanım göstermiş ve radyasyon geçirimsizliği açısından cam elyaf katkılı alkere göre daha üstün performans sergilemiştir.

Güneri (2023) çalışmasında; kerpiç harcına Trakya Bölgesi'nde atık olarak ortaya çıkan ayçiçeği saplarını katmış ve deneysel sonuçlara göre kütlece %1.25 oranında, 2-3 cm uzunluktaki atık lif katkısı kerpicingin 37.7 kgf/cm² basınç dayanımı ile dayanıklılık parametrelerini güçlendirdiği gözlenmiştir.

5. Değerlendirme

Bu kısımda literatürde yer alan, bağlayıcı madde katkısı ile sağlamlaştırma ve lif katkısı ile sağlamlaştırma olarak 2 ana başlıkta ele alınan katkı maddelerinin kerpicingin basınç dayanımı, su emme oranı, suda dağılma süresi, birim ağırlık ve kürlenme süresi özelliklerine etkisi bir değerlendirme tablosu yapılarak Tablo 1'de sunulmuştur. Değerlendirme tablosunda kerpice olumlu etki edenler pozitif yönü (▲), olumsuz etki edenler negatif yönü (▼), göstermektedir. Çalışma kapsamında değerlendirilmeyen kriterler için (—) ifadesi kullanılmıştır. Tablo hazırlanırken özellikle günümüze yakın olan son 20 yılda yapılan çalışmalar göz önüne alınmıştır.

Tablo 1. Kerpiç harcına katılan malzemelerin karşılaştırılması

Referans	Çalışma Yapıldığı Ülke	Çalışma Türü	Katkı Maddesi		Basınç Dayanımı	Su Emme Oranı	Suda Dağılıma Süresi	Birim Ağırlık	Kürlenme Süresi
			Bağlayıcı	Lif					
Kafesçioğlu vd. (1980)	Türkiye	Proje	Alçı		▲	▼	▲	▼	▼
Kafesçioğlu vd. (1980)	Türkiye	Proje	Kireç		▲	▼	▲	▼	—
Baradan (1995)	Türkiye	Makale	Uçucu kül		▲	▼	▲	—	—
Baradan (1995)	Türkiye	Makale	Tuğla kiremit atığı		▲	—	—	—	—
Elizabeth ve Adams (2000)	Amerika	Kitap	Bitüm		—	▼	▲	—	—
Binici vd. (2005)	Türkiye	Makale	Bazaltik pomza		▲	—	—	▼	—
Binici vd. (2005)	Türkiye	Makale		Plastik fiber	▲	▼	▲	—	—
Binici vd. (2005)	Türkiye	Makale		Polistren kumaş	▲	▼	▲	—	—
Yetgin ve Çavdar (2008)	Türkiye	Makale		Saman	▲	▼	▲	—	—
Değirmenci (2005)	Türkiye	Makale	Fosfoalçı		▲	▲	▼	▼	▼
Gürfidan (2006)	Türkiye	Tez	Yüksek fırın cürufu		▲	▼	▲	—	—
Kıvrak (2007)	Türkiye	Tez	Silis dumanı		▲	▼	▲	▼	—
Çakır (2010)	Türkiye	Makale	Volkanik tüf		▲	▼	▲	—	—
Akkaş (2011)	Türkiye	Makale		Polipropilen lif	▲	▼	▲	▼	—
Gül (2011)	Türkiye	Makale		Cam lifi	▲	▼	▲	▼	—
Gül (2011)	Türkiye	Makale	Hava sürükleyici		▲	▼	▲	▼	—
Millogo vd. (2014)	Fransa	Makale		Hibiscus Cannabinus lifi	▲	▼	▲	—	—
Aslan Pedergnan (2015)	Türkiye	Tez		Çam iğnesi	▲	▼	▲	—	—
Andrejkovičová vd. (2015)	Şili	Makale	Bentonit		▲	▼	▲	—	—
Andrejkovičová vd. (2015)	Şili	Makale	Metakaolin		▲	▼	▲	—	—
Milligo (2015)	Fransa	Makale		Kenaf lifi	▲	—	—	—	—
Lokeshwari ve Jagadisk (2016)	Hindistan	Makale	Granit atığı çamuru		▲	—	—	—	—

Tablo 1 (Devamı)

Referans	Çalışma Yapıldığı Ülke	Çalışma Türü	Katkı Maddesi		Basınç Dayanımı	Su Emme Oranı	Suda Dağılıma Süresi	Birim Ağırlık	Kürlenme Süresi
			Bağlayıcı	Lif					
Balkis vd. (2017)	Türkiye	Makale	Atık mermer tozu		▲	—	—	—	—
Araya-Letelier (2018)	Şili	Makale		Jüt lifi	▲	—	—	—	—
Elborgy (2019)	Türkiye	Tez		Hurma yaprağı	▲	▼	▲	—	—
Ouedraogo (2019)	Fransa	Makale		Fonio lifi	▲	▲	▼	▼	—
Babé (2020)	Kamerun	Makale		Mısır lifi	▲	▼	▲	—	—
Saqr Sayed (2020)	Türkiye	Tez	Çimento		▲	▼	▲	—	▼
Babé (2021)	Kamerun	Makale		Neem atığı lifi	▲	▼	▲	—	—
Muñoz vd. (2021)	Şili	Makale	Biyokütle atığı külü		▲	—	—	▼	—
Ige (2021)	İngiltere	Makale		Muz lifi	▲	—	—	▼	—
2021	Türkiye	Makale		Keten lifi	▲	▼	▲	—	—
Trang vd. (2021)	Vietnam	Makale	Aritma çamuru		▲	—	—	—	—
2022	Türkiye	Tez		Yün	▲	▼	▲	▼	—
Boucheфра (2022)	Fas	Makale		Doum lifi	▲	▼	▲	▼	—
Hussain vd. (2022)	Fransa	Makale	Nehir atık çamuru		▲	—	—	—	—
Hussain vd. (2022)	Fransa	Makale		Kenevir lifi	▲	—	—	—	—
Hussain vd. (2022)	Fransa	Makale		Palmiye yağı çiçeği lifi	▲	—	—	—	—
Morsy vd. (2022)	Mısır	Makale	Pirinç samanı külü		▲	▼	▲	▼	—
Boussaa vd. (2023)	Cezayir	Makale	Odun külü		▲	▼	▲	▼	—
Güneri (2023)	Türkiye	Tez		Ayçiçeği sapı atığı	▲	▼	▲	▼	—

Geleneksel kerpiç, üretiminden yapı ömrü boyunca insan sağlığı ve çevre açısından sürdürülebilir bir yapı malzemesidir. Fakat hemen her yapı malzemesinde olduğu gibi kerpiçin de bir takım geliştirilmesi gereken parametreleri bulunmaktadır. Bu çalışmada doğal bir yapı malzemesi olan kerpiçin günümüz teknolojisi ile bağlayıcı ve lif gibi katkı maddeleri kullanılarak özelliklerinin geliştirilebileceği vurgulanmak istenilmiştir. Bu bağlamda kerpiçin çeşitli katkı maddeleri ile özelliklerinin iyileştirildiği literatür çalışmaları incelenmiştir. Yapılan inceleme kerpiçte basınç dayanımı, su emme oranı, suda dağılıma süresi, birim ağırlık ve kürlenme süresi parametrelerine etkisi Tablo 1’de gösterilmiştir.

6. Sonuç

Toprak temelli yapı malzemeleri, çevre dostu ve sürdürülebilir yapılara yönelik artan ilgiyle yeniden ön plana çıkmaktadır. Bu malzemelerin yapımında kullanılan toprak, doğal ve yaygın olarak bulunan bir kaynaktır ve işlenmesi düşük enerji gerektirir. Ayrıca, bu yapı malzemeleri genellikle bölgesel olarak bulunan hammaddelerden üretildiği için nakliye maliyetlerini azaltır ve yerel ekonomilere katkı sağlar.

Antik yerleşimlerden beri yapı malzemesi olarak kullanılan kerpiç günümüzün teknolojisi ve bilgi birikimi yardımıyla özelliklerinin geliştirilebileceği literatürdeki çalışmalarda görülmektedir. Yapılan çalışmalar kerpiçte fiziksel özellikler bakımından su ve neme karşı dayanımı, su emme oranı, birim hacim ağırlığı ve kürlenme süresi parametreleri; mekanik özellikleri bakımından ise basınç dayanımına etkileri üzerinden değerlendirilmiştir.

Bu değerlendirme sonucunda;

- Çok eski yıllardan beri yapı malzemesi olarak kullanılan kerpiçin günümüzde de modern yapı malzemeleri arasındaki yerini alması gerektiği düşünülmektedir.
- Kerpiç harcına ilave edilen katkı maddelerinin mukavemet, suya dayanım, birim ağırlık ve kürlenme süresi açısından harcın özelliklerini iyileştirilebileceği görülmektedir.
- Çimento, bitüm vb. yapıdaki katkı malzemeleri basınç, suya dayanım ve kürlenme süresi açısından olumlu sonuçlar vermekle birlikte bu tür malzemelerin maliyeti artırması ve kerpiçin yeşil malzeme yapısına aykırı olması sebebiyle miktarları minimum seviyede tutulmalıdır.
- Lif katkısı kerpiç için oldukça önemli olup kerpiçte mukavemeti artırmıştır. Fakat kullanılan lifin bünyesine su çekmemesi ve doğadaki ham madde olanaklarına göre alternatif lif seçenekleri bulunması gerekmektedir.
- Silis dumanı, hava sürükleyici katkı, çeşitli lifler ve atık küllerinin boşluklu yapısı kerpiçte birim ağırlığı düşürmüştür.
- Alçı ve çimento katkısı kerpiçin hızlı kürlenmesini sağlamıştır.
- Kerpiç harcına katılan malzemelerin miktarları ve boyutları deneysel çalışmalarla belirlenerek istenen özellikler açısından optimum oranlar oluşturulmalıdır.
- Özellikle son yıllarda yapılan çalışmalarda kerpiç üretiminde katkı maddesi olarak atık malzeme kullanılabileceği görülmüştür.

Referanslar

- Akbaş, M. F., Aslan, M., ve Arpacioğlu, Ü. (2022). Yeşil Malzeme Bağlamında Kerpiç. EKSEN Dokuz Eylül Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Dergisi, 3(2), 72-88.
- Akbaş, F. (2011). Lif katkılı kerpiç panel duvar üretilen olanaklarının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Aktaş, V. (2020). Barak kerpiç konut mimarisinin sürdürülebilirlik açısından değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi. Hasan Kalyoncu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep.
- Almaç, U. (2002). Alçı bağlayıcılı hazır harç ile toprak karışımının hasarlı kerpiç yapılarda onarım harcı olarak kullanılabilmesi için deneysel araştırma, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Andrejkovičová, S., Alves, C., Velosa, A., ve Rocha, F. (2015). Bentonite as a natural additive for lime and lime–metakaolin mortars used for restoration of adobe buildings. Cement and Concrete Composites, 60, 99-110.
- Araya-Letelier, G., Concha-Riedel, J., Antico, F., Valdés, C., ve Cáceres, G. (2018). Influence of natural fiber dosage and length on adobe mixes damage-mechanical behavior. Construction and Building Materials, 174, 645-655.
- Arseven, C. E. (1956). Türk sanatı tarihi: menşinden bugüne kadar, mimarî, heykel, resim, süsleme ve tezyinî sanatlar: Milli Eğitim Basımevi, İstanbul.
- Aslan Pedernana, E. (2015). Physical and thermal properties of pine-needle lightweight loam, Yüksek Lisans Tezi. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Aymerich, F., Fenu, L., ve Meloni, P. (2012). Effect of reinforcing wool fibres on fracture and energy absorption properties of an earthen material. Construction and Building Materials, 27(1), 66-72.
- Babé, C., Kidmo, D. K., Tom, A., Mvondo, R. R. N., Boum, R. B. E., ve Djongyang, N. (2020). Thermomechanical characterization and durability of adobes reinforced with millet waste fibers (sorghum bicolor). Case Studies in Construction Materials, 13, e00422.
- Babé, C., Kidmo, D. K., Tom, A., Mvondo, R. R. N., Kola, B., ve Djongyang, N. (2021). Effect of neem (Azadirachta Indica) fibers on mechanical, thermal and durability properties of adobe bricks. Energy Reports, 7, 686-698.
- Balkis, A. P. (2017). The effects of waste marble dust and polypropylene fiber contents on mechanical properties of gypsum stabilized earthen. Construction and Building Materials, 134, 556-562.

- Baradan, B. (1995). Kerpiç yapıların korunması için uygun puzolanik karışımlar. *End. Atıkların İnşaat Sektöründe Kul. Semp.*, Ankara, 73-79.
- Benghida, D. (2015). Adobe bricks: The best eco-friendly building material. *Advanced materials research*, 1105, 386-390.
- Bergil, M., ve Yaşar, A. (2020). polipropilen lif katkılı kerpiç tuğlaların fiziksel ve mekanik özelliklerinin incelenmesi. *Erzincan University Journal of Science and Technology*, 13(1), 105-114.
- Binici, H., Aksogan, O., ve Shah, T. (2005). Investigation of fibre reinforced mud brick as a building material. *Construction and Building Materials*, 19(4), 313-318.
- Binici, H., Durgun, M., ve Yardım, Y. (2016). Are The Mud Brick Structures Very Weak Against Earthquake? What Are The Advantages and Disadvantages of Them? *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 13(2), 1-11.
- Blondet, M., Garcia, G. V., Brzev, S., ve Rubiños, A. (2003). Earthquake-resistant construction of adobe buildings: A tutorial. *EERI/IAEE world housing encyclopedia*.
- Bouchefra, I., Bichri, F. Z. E., Chehouani, H., ve Benhamou, B. (2022). Mechanical and thermophysical properties of compressed earth brick reinforced by raw and treated doum fibers. *Construction and Building Materials*, 318, 126031.
- Boussaa, N., Kheloui, F., ve Chelouah, N. (2023). Mechanical, thermal and durability investigation of compressed earth bricks stabilized with wood biomass ash. *Construction and Building Materials*, 364, 129874.
- Bozyel, M. E. (2021). Betonarme Kullanıcılarının Kerpiç Yapılar Hakkındaki Görüşlerinin Bilimsel Veriler Doğrultusunda İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi. Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- Çakır, K. (2010). Doğal puzolan katkılı kireç harcı ile toprak karışımının kerpiç yapılarda dış sıva olarak kullanılabilirliği üzerine deneysel bir araştırma, Yüksek Lisans Tezi. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çavuş, M., Dayı, M., Uslu, H., ve Aruntaş, Y. (2015). Sürdürülebilir bir yapı malzemesi olarak kerpiç. *Gazi Üniversitesi II. Uluslararası Sürdürülebilir Yapılar Sempozyumu*, Mayıs, Ankara, ISBS, 28, 184-190.
- Çelik, M. H., Küçük, N., ve Vural, M. (2016). A Study on the Production of Adobe with the Addition of Silica Fume. *Contemporary Engineering Sciences*, 5(6), 265-225.
- Değirmenci, N. (2005). Endüstriyel Atıkların Kerpiç Stabilizasyonunda Kullanılması. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 18(3), 505-515.
- Demirtaş, G. (2020). Konya-Türbeönü tescilli kerpiç yapılarının restorasyonunda kullanılacak uygun harç tayini, Doktora Tezi. Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya.
- Dobson, S. (2000). *Continuity of tradition: new earth building*. University of Technology Sydney, Avustralya.
- Elborgy, R. (2019). Mısır'da Hurma Lifi Katkılı Kerpice Restorasyon Uygulamalarında Kullanılabilirliğine Yönelik Bir Araştırma. Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, İstanbul.
- Elizabeth, L., ve Adams, C. (2000). *Alternative construction: contemporary natural building methods*: Wiley Press.
- Gül, T. (2011). Cam Elyaf ve Hava Sürükleyici Katkı Kullanılarak Geliştirilmiş Kerpiç, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Güneri, M. (2023). Ayçiçeği sapı ilavesi ile kerpiç malzemesinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi. Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- Gürbüz, G. (2005). Toprak yapı malzemesinin stabilizasyonu ve toprak bina yapım teknikleri üzerine bir araştırma, Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Gürfidan, A. (2007). Safranbolu evlerinde kullanılan kerpiç malzemesinin yüksek fırın cürufu ile iyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Hasol, D. (1979). *Ansiklopedik mimarlık sözlüğü (Vol. 2): Yapı-Endüstri Merkezi*.

- Hussain, M., Levacher, D., Leblanc, N., Zmamou, H., Djeran-Maigre, I., Razakamanantsoa, A., ve Saouti, L. (2022). Reuse of harbour and river dredged sediments in adobe bricks. *Cleaner Materials*, 3, 100046.
- Ige, O., ve Danso, H. (2021). Physico-mechanical and thermal gravimetric analysis of adobe masonry units reinforced with plantain pseudo-stem fibres for sustainable construction. *Construction and Building Materials*, 273, 121686.
- Illampas, R., Ioannou, I., ve Charmpis, D. C. (2009). Adobe: an environmentally friendly construction material. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 120, 245-256.
- Işık, B. (2003). Depreme Dayanıklı Yapı Elde Edilmesi için Alker Duvarın Tasarım Kriterlerinin araştırılması. CD Bildiri No: AE-048, Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 26-30.
- Kafesçioğlu, R., Gürdal, E., Toydemir, N., ve Özüer, B. (1980). Yapı malzemesi olarak kerpicin alçı ile stabilizasyonu. *Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu Mühendislik Araştırma Gurubu Proje*, 505, 22-30.
- Kılınçkale, F. M., ve Tuna, G. (2013). Improvement of adobe material by using glass-fiber and entrained air. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 31(3), 289-297.
- Kıvrak, J. (2007). Silis dumanı katkılı kerpiçlerin mekanik ve fiziksel özelliklerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Leblebici, Y., ve Akıncı, A. (2021). Ekolojik yeni nesil kerpiç. *Bilim Armonisi*, 4(2), 12-19.
- Lokeshwari, M., ve Jagadish, K. (2016). Eco-friendly use of granite fines waste in building blocks. *Procedia Environmental Sciences*, 35, 618-623.
- Millogo, Y., Aubert, J.-E., Hamard, E., ve Morel, J.-C. (2015). How properties of kenaf fibers from Burkina Faso contribute to the reinforcement of earth blocks. *Materials*, 8(5), 2332-2345.
- Millogo, Y., Morel, J.-C., Aubert, J.-E., ve Ghavami, K. (2014). Experimental analysis of Pressed Adobe Blocks reinforced with Hibiscus cannabinus fibers. *Construction and Building Materials*, 52, 71-78.
- Minke, G. (2006). *Building with earth: design and technology of a sustainable architecture*: De Gruyter.
- Morsy, M. I., Alakeel, K. A., Ahmed, A. E., Abbas, A. M., Omara, A. I., Abdelsalam, N. R., ve Emaish, H. H. (2022). Recycling rice straw ash to produce low thermal conductivity and moisture-resistant geopolymer adobe bricks. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(5), 3759-3771.
- Muñoz, P., Letelier, V., Muñoz, L., ve Zamora, D. (2021). Assessment of technological performance of extruded earth block by adding bottom biomass ashes. *Journal of Building Engineering*, 39, 102278.
- Obafemi, A. O., ve Kurt, S. (2016). Environmental impacts of adobe as a building material: The north cyprus traditional building case. *Case Studies in Construction Materials*, 4, 32-41.
- Ouedraogo, M., Dao, K., Millogo, Y., Aubert, J.-E., Messan, A., Seynou, M., . . . Gomina, M. (2019). Physical, thermal and mechanical properties of adobes stabilized with fonio (*Digitaria exilis*) straw. *Journal of Building Engineering*, 23, 250-258.
- Özgünler, S. A., ve Gürdal, E. (2012). Dünden bugüne toprak yapı malzemesi: kerpiç. *Restorasyon ve Konservasyon Çalışmaları Dergisi*(9), 29-37.
- Rosen, A. M. (1986). *Cities of clay: the geoarcheology of tells*: University of Chicago Press.
- Saqr Sayed, M. (2020). Türkiye'deki Kerpiç İnşaat Geleneğinin Korunması için Sıkıştırılmış Toprak Blok Üretiminde Farklı Stabilizatörlerin Kullanılabilirliği Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi. Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- Stevanović, M. (1997). The age of clay: the social dynamics of house destruction. *Journal of anthropological archaeology*, 16(4), 334-395.

- Tiryaki, O. (2022). Koyun yünü katkılı kerpicing bazı fiziksel ve mekanik özellikleri, Yüksek Lisans Tezi. Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya.
- Trang, N. T. M., Ho, N. A. D., ve Babel, S. (2021). Reuse of waste sludge from water treatment plants and fly ash for manufacturing of adobe bricks. *Chemosphere*, 284, 131367.
- TSE. (1977). TS2514 Kerpiç Bloklar ve Yapım Kuralları (Yürürlükten kaldırılmıştır): Ankara.
- Türkçü, Ç. (2000). Yapım, Birsen Yayınevi: İstanbul.
- Url-1. Kerpiç Nedir? Yapımında Dikkat Edilmesi Gerekenler. Retrieved from <https://santiyede.com/kerpic-nedir-yapiminda-dikkat-edilmesi-gerekenler/>. Erişim tarihi: 05.01.2024
- Url-2. Yemen’de Çamurdan Gökdelener. Retrieved from <https://yenidenergenekon.com/795-yemende-camurdan-gokdelener/>. Erişim tarihi: 13.02.2024
- Url-3. Nk’Mip Desert Cultural Centre / DIALOG. Retrieved from <https://www.archdaily.com/508294/nk-mip-desert-cultural-centre-dialog>. Erişim tarihi: 13.02.2024
- Url-4. Macha Village Center / Oneartharch architect. Retrieved from <https://www.archdaily.com/936509/macha-village-center-oneartharch-architect>. Erişim tarihi: 24.02.2024
- Url-5. Chapel of Reconciliation. Retrieved from <https://www.archiweb.cz/en/b/kaple-smireni-kapelle-der-vers-hnung>. Erişim tarihi: 24.02.2024
- Url-6. Şükran Köyü'nün kerpiç evleri tasarımıyla ilgi odağı. Retrieved from <https://www.trthaber.com/haber/yasam/sukran-koyunun-kerpic-evleri-tasarimiyla-ilgi-odagi-385061.html>. Erişim tarihi: 24.02.2024
- Url-7. Göbeklitepe Ziyaretçi ve Canlandırma Merkezi. Retrieved from <https://kreatifmimarlik.com/project/gobeklitepe-ziyaretci-ve-canlandirma-merkezi/>. Erişim tarihi: 24.02.2024
- Url-8. Kerpiç At Çiftliği. Retrieved from <https://mimdap.org/>. Erişim tarihi: 13.02.2024
- Url-9. Mimaride özümüze geri dönelim. Retrieved from <https://www.yenisafak.com/hayat/mimaride-ozumuze-geri-donelim-3525799>. Erişim tarihi: 05.01.2024
- Url-10. Kerpiç Nedir? Özellikleri ve Avantajları- Kerpiç Evler. Retrieved from <https://insaatt.com/kerpic-nedir-ozellikleri-ve-avantajlari-kerpic-evler/>. Erişim tarihi: 10.01.2024
- Url-11. Sulz Residential Conversion. Retrieved from <https://www.erden.at/Projects>. Erişim tarihi: 05.12.2023
- Warren, J. (1999). Conservation of earth structures. İngiltere: Butterworth-Heinemann Yayıncılık.
- Yavaş, A. N. T. (2021). Kerpiç Binaların Ağırlık Yükleri ve Deprem Etkileri Altındaki Davranışı ve Yurdumuzdaki Uygulanışı, Yüksek Lisans Tezi. Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- Yetgin, Ş., Çavdar, Ö., ve Cavdar, A. (2008). The effects of the fiber contents on the mechanic properties of the adobes. *Construction and Building Materials*, 22(3), 222-227.
- Zami, M. S., ve Lee, A. (2010). Stabilised or unstabilised earth construction for contemporary urban housing? Responsive Manufacturing - Green Manufacturing (ICRM 2010), 5th International Conference on.