



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Derleme Makalesi

Sürdürülebilirlik Kavramı Anlayışında Tuğla Endüstrisinin İncelenmesi

 Can DEMİREL^{a,*},  Osman ŞİMŞEK^b

^a İnşaat Bölümü, Pınarhisar Meslek Yüksekokulu, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli, TÜRKİYE

^b İnşaat Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: candemirel@klu.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1261218

ÖZ

Sürdürülebilirlik kavramı için önemli problem doğal kaynakların ve çevrenin tahrip edilmesidir. Tuğlalar inşaat sektöründe kullanılan en yaygın duvar malzemesi olduğundan kil tuğlalarının üretiminde kullanılan doğal kilin kaynaklarında azalma meydana gelmektedir. Bunun yanında tuğla üretim süreci büyük miktarda enerji tüketmekte ve hava kirliliği oluşturmaktadır. Bu çalışmada sürdürülebilirliğin tanımı, önemi ve tuğla endüstrisi açısından sürdürülebilirlik kavramı araştırılmıştır. Tuğla üretiminde sürdürülebilirlik açısından çözüm yolları ve üretimde kullanılan atık malzeme üzerine akademik çalışmalar incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilirlik, Tuğla, Atık malzeme

Examining the Brick Industry in Understanding the Concept of Sustainability

ABSTRACT

The important problem for the concept of sustainability is the destruction of natural resources and the environment. Since bricks are the most common wall material used in the construction industry, there is a decrease in the resources of natural clay used in the production of clay bricks. In addition, the brick production process consumes a large amount of energy and creates air pollution. In this study, the definition and importance of sustainability and the concept of sustainability in terms of the brick industry were investigated. In terms of sustainability in brick production, academic studies on solutions and waste materials used in production were examined.

Keywords: Sustainability, Brick, Waste material

I. GİRİŞ

Dünya nüfusunun artması ve teknolojinin gelişmesi ile aynı hammaddenin farklı alanlarda kullanılması kaynakların hızlıca tüketilmesine yol açmaktadır. Böylece hammadde kullanımı atık malzemelerin oluşmasına neden olmaktadır. Meydana gelen atık malzemeler insan sağlığına zarar vermekte ve bunun yanında çevre kirliliğine ve finansal olarak da negatif yönde etki etmektedir. Negatif yönde olan bu etkilerin takip edilmesi ve önlemler alarak bu etkileri en zara indirme çalışmalarının yapılması gerekmektedir. Bu çalışma yöntemlerinden bazıları atıkları toplamak, geri kazanmak ve depolamaktır [1].

Üretim yöntemlerinin yanında sürdürülebilirlik kavramı ile birlikte araştırmacılar ucuz ve hafif yapı malzemeleri üretmek için araştırmalar yapmaya yönelmiştir. Araştırmacılar ortaya çıkan atık malzemeleri sürdürülebilir malzeme üretmek amacıyla tuğla üretimine dahil ederek araştırmalar yapmıştır. Bilim adamları uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve silis dumanını birçok araştırmada kullanmışlardır. Tuğla üretiminde kullanılan atıkların basınç dayanımı bakımından olumsuz etki yaptığı görülmüştür [2].

Çalışmada sürdürülebilirlik kavramının tanımı yapılarak, tuğla üretim sürecinde sürdürülebilirlik kavramı üzerinde durulmuştur. Tuğla üretim sürecinde hammadde miktarının azaltılarak doğal kaynakları korumak üzerine yapılan güncel çalışmalar incelenmiştir.

II. SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

Sürdürülebilirlik, bir olayın, olgunun devamlılığını sağlamak, sürdürmek anlamına gelen Latince 'sustinere' kelime kökünden gelmektedir. Sürdürülebilirlik asıl kaynağı bitirmeden, kontrollü bir şekilde tüketilmesi ile birlikte sonsuza kadar var olması sağlanarak kullanılmasıdır [3].

1987 yılının öncesinde enerji kaynakları ve hammaddeler kontrolsüz bir şekilde tüketilmekle birlikte çevre faktörü önemsenmeden sadece ekonomik boyut üzerinde durulmaktaydı. 1987 yılından itibaren ekonomik boyutların düşünülmesinin ortaya çıkardığı sorunlardan dolayı sürdürülebilir kalkınma ortaya çıkarak benimsenmiştir. Sürdürülebilir kalkınmanın benimsenmesiyle çevresel, ekonomik ve sosyal boyutlar hep birlikte ele alınmıştır [4].

Yapı malzemelerinin süreci hammaddenin çıkarılması, fabrikaya ulaştırılması ve işlenmesi, kullanılacağı yapının şantiyesine taşınması, şantiyede kullanılması, onarılması ve ömrü bittiğinde yıkılması ve geri dönüştürülmesi evrelerini kapsamaktadır. Malzemenin sürdürülebilirliğini belirleyen özellikler enerji, elde edildiği hammadde, performans, maliyet ve estetikdir. Yapılarda sürdürülebilir malzemeler yenilenemez enerji kaynağına duyarlı, doğaya zarar veren kimyasal içermeyip, canlıların yaşamsal döngülerine zarar vermeyip, hammaddesinin kullanılabilir hale getirilmesinde, işlenmesinde minimum düzeyde su ve enerji kullanılan, geri dönüşebilir ve tekrar kullanılabilen, doğaya ve çevreye zarar vermeyen malzemelerdir [5].

Sürdürülebilir yapıların süreci projelerin çiziminden itibaren, yapının inşası, kullanılması ve onarılması, ömrünü tamamladıktan sonra yıkılarak geri dönüşüm ile tekrar kullanılarak ortadan kalkması döngülerinden oluşmaktadır [6].

III. TUĞLA ENDÜSTRİSİ AÇISINDAN **SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK KAVRAMI**

A. TUĞLA ÜRETİMİNİN SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK AÇISINDAN TAŞIDIĞI TEMEL ÖZELLİKLER

Tuğlalar en fazla kullanılan yığma birimlerdir. Üretim aşamasında fazla enerji tüketilen ve hava kirliliğine sebep olan bir süreci kapsamaktadır. Milattan önce kullanılan geleneksel yapı malzemesi olan tuğlalar, inşaat sektöründe en çok kullanılan duvar malzemesidir. Kil tuğlalarının üretimi 800°C ile 1400°C sıcaklıklarda pişirilmesiyle oluşmaktadır. Fırınlarda kullanılan kömüründe etkisiyle atmosferi kirleterek hava kirliliği oluşturmaktadır ve ciddi sağlık problemleri oluşturmaktadır. Sürdürülebilir bir üretim olması için enerjinin daha verimli yollarla yapılması gerekmektedir [7].

Tuğla üretimi ülkemizde hammaddesinin fazla ve elde edilmesinin kolay olduğu yerleşimlere yoğunlaşmış inşaat sektörüne hizmet eden 520 fabrika bulunmaktadır. Tuğla fabrikalarının sayılarına bakıldığında yıllık hammadde kullanımının 30 milyon ton civarında olduğu tahmin edilebilir. Türkiye’ de üretimi basit, maliyet olarak düşük ve yaygın tüketilen yapı malzemesidir [8].

Tuğla üretiminde pişirme safhasındaki fırın çeşitlerine bakıldığında; Türkiye’ de en fazla kullanılan fırın Hoffman fırınlarıdır. Hoffman fırınları, kesit olarak dairesel tonoz şeklindedir. Tuğlalar sabit fakat ateş hareketlidir. Bu fırın tipleri ısıyı verimli kullanır ve kapasiteleri yüksektir. Hoffman fırınlarında genellikle katı yakıt olarak kömür kullanılır. Çok az da olsa sıvı yakıt da kullanılır. Enerji bakımından diğer fırınlara göre yüksek tüketim ve maliyet olarak da yüksek maliyetlidir [9].

Tuğla üretimi sırasında kullanılan hammadde miktarını azaltmak ve bunun için kile atık malzemeler ikame etmek, pişirme işlemindeki enerjiyi düşürmek için fırın sistemlerinde ve yakıt kullanımında değişikliklere gitmek tuğla endüstrisinde sürdürülebilirlik kavramını canlandırmaktadır. Ayrıca üretilen tuğlaların kırık durumda olanları tuğla tozu haline getirilerek kilin plastikliğini dengelemek amacıyla hammadde içerisine karıştırılmaktadır. Beton sektöründe tuğla kırıkları ve tozları agrega ve çimentoya ikame olarak kullanılmaktadır.

B. TUĞLA ENDÜSTRİSİNDE TARİHSEL DEĞİŞİME KISA BAKIŞ

Geçmişte üretilen ilk yapı malzemesi tuğla olup; kilin suyla karışıp pişirilmesiyle doğmuştur. Geçmiş çağlarda barınma ihtiyacı için yapılmış yapılar, önce tuğla üretim yeri olmuş ve sonra üretilen tuğlalarla inşa edilmişti. Bu bilgiye göre tuğlalardan yapılan ilk ev; tuğlanın ilk üretim yeri olmuştur. Eski çağlarda kurulan yerleşim yerleri seçilirken tuğla üretiminde kullanılan toprağın fazla olduğu bölgelerin dikkate alındığı bilinmektedir. Tuğla sanatının ilk başlangıcı bu dönemlerin olduğu kabul edilmektedir. Mezopotamya toprakları içerisinde yer alan Nil ve Tigris nehirlerinin aşağı kısımları ilk başlangıç bölgeleridir. Bu bölgelerde yapılan kazı çalışmalarından elde edilen kalıntılardan zamanın gösterişli yapılarının tuğlalardan imal edildiği bilgisine ulaşılmıştır [9].

Anadolu’da kiremit ve tuğlaya ilk standart Osmanlılar döneminde getirilmiştir. Fatih Sultan Mehmet devrinde tuğlalar 4.5x28x28 cm boyutlarında üretilmiş, taban tuğlaları da 25x25 cm ebatlarında kare veya çapları 30 cm ile 60 cm arasında değişen altıgen şeklinde üretilmiştir. Anadolu’da kullanılan tuğlalar bu standartlar dışında üretiliyse inşaatlarda kullanılmasına ve tuğlaların satışına da izin verilmemiştir. 18. yüzyıla kadar tuğla sektöründe kayda değer gelişmeler görülmemiştir. Bu durgunluk sanayi devrimi ile sona ermiştir. Tuğla ve kiremit endüstrisinde üretimde standartlaşma ve iş gücünün azalması yönünde çalışmalara öncelik verilmiştir. Tuğla ve kiremit 21. yüzyılın vazgeçilmez malzemeleri arasındadır [9], [10], [11].

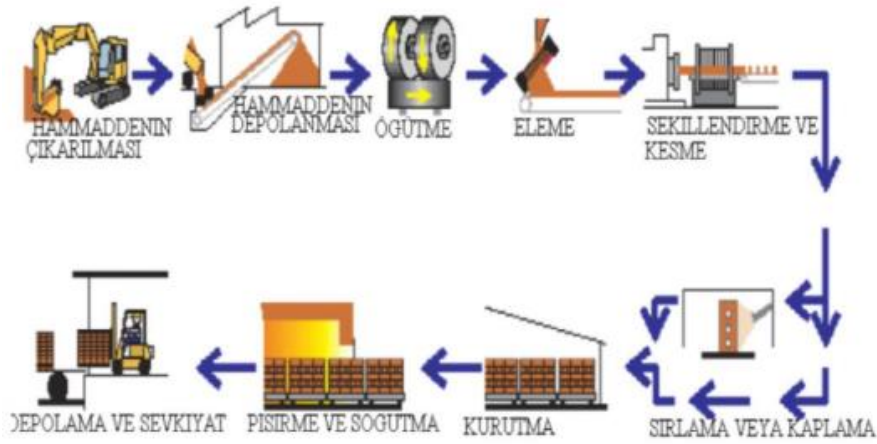
C. TUĞLALARIN YAŞAM DÖNGÜSÜNÜN DEĞERLENDİRMESİ

Yapı malzemeleri üretimi dünyada gıda sektöründen sonra hammadde tüketen sektördür [12]. Dünyada her yıl yapı malzemeleri üretimi için en az üç milyon ton hammadde kullanılmaktadır. Tüketilen hammadde küresel ekonominin neredeyse %40 -50' sidir [13].

Tuğlaların yaşam döngüsünün değerlendirilmesi, tuğla üretiminin başından sonuna kadar, yani tuğla hammaddesi olan kilin çıkarımından, tuğla üretimine, kullanımına, tuğlanın ömrünü tüketmesine, geri dönüşümüne kadar, yaşam döngüsünde olası çevresel etkilerini kapsar.

Tuğla üretiminde kullanılan hammadde kil'dir. Kil, feldispat, kalsit, dolomit ve kuvars en bilinen tortul kayalarda bulunan en yaygın minerallerdir. Tortul kayalardan granit gibi magmatik ana kayacın parçalanması ve kimyasal bozuşma kil minerallerini oluşturur. Feldispat mineralince zengin olan volkanik kayaların suların etkisiyle aşınarak taşınması ve havzalarda birikmesi ile kil yatakları oluşmaktadır [14].

Tuğla üretim aşamaları ilk olarak hammaddenin çıkarılarak depolanmasıyla başlar. Hammaddenin hazırlanması, hammaddenin şekillendirilmesi, şekil verilen tuğlaların kurutulması, pişirilmesi ve pişirilen tuğlaların soğutulduktan sonra paletlere dizilerek depolanmasıyla üretim aşamaları son bulur.



Şekil 1. Üretim süreçleri [18].

Tuğla üretimi hammaddenin hazırlanması, şekillendirilmesi, kurutulması ve pişirilmesi aşamalarından meydana gelmektedir. İlk aşama olan hammaddenin hazırlanması, üretimde kullanılacak killerin boyut ve bileşim açısından uygun hale gelmesi için gerekli hazırlıkları içeren aşamadır. Hammaddeden iri taşların ve çöplerin ayıklanmasından sonra istenilen inceliğe kadar öğütülmesi, işlenebilirlik özelliğinin artması, malzemenin homojen olması, kohezyon ve plastiklik özellikleri için önemlidir. Öğütme işleminin tamamlanmasının ardından harmanlama (kireç tebeşir, kum, gibi) ve su eklenerek istenilen kıvam elde edilinceye kadar yoğurma işlemi yapılır. Daha sonra hammadde dinlendirilerek, çamurun direnç kazanması sağlanmış olur. Hammaddenin hazırlanması aşamalarından en önemli aşama kalitesini etkilediğinden dinlendirme aşamasıdır [15].

Şekillendirilmiş tuğlalar pişirilmeden önce pişirme esnasındaki çatlamayı engellemek ve bir miktar mukavemet kazanması için kurutulması gerekmektedir. Tuğlaların kurutulması doğal olarak atmosferik şartlarda olabileceği gibi, nemin kontrol altında tutulduğu özel tasarlanmış kurutma odalarında da yapılabilir [16].

Kurutma işleminin ardından pişirme işlemi fırınlarda gerçekleştirilmektedir. Pişirme sırasında kilin kimyasal değişimleri tuğlaların sağlamlığını ve mekanik özelliklerini artırmaktadır.

Tuğla üretiminin son aşaması pişirme işlemidir. Kiler pişirme sırasında kimyasal reaksiyonlara maruz kalır. 300°C’ de organik maddeler yanar, molekül suyu 550°C’ de bileşimden ayrılır. 550-900°C arasında silis ve alümin tekrar birleşerek metakaolin oluşur. Bu oluşan malzeme sert, şeklini koruyan, mukavemet kazanan ve rengini almış olan tuğladır. Pişirme sıcaklığı arttıkça su emme azalmakta ve birim ağırlığı artmaktadır. Ancak çok fazla yüksek sıcaklıkta pişirme tuğlaların camlaşmasına ve uygulama sırasında harca yapışmasının azalmasına sebep olur. Genellikle pişirme sıcaklığı 900-980°C arasında olmalıdır [17].

Etki değerlendirme aşamasına gelindiğinde, hammaddelerin çıkarılması, elenmesi, taşınması, işlenmesi çok fazla enerji gerektiren aşamalardır ve elektrik enerjisi tüketimi olur. Enerji tüketiminin en yoğun olduğu aşama fırın yani tuğlayı pişirme aşamasıdır. Bununla birlikte fabrikalarda çoğunlukla kömür ve son teknoloji fabrikalarda doğalgaz kullanılan enerji kaynaklarıdır. Tuğla üretiminde tuğla pişirmek için kullanılan yakıtların etkisiyle CO₂ oluşmakta ve bu durum küresel ısınmaya neden olmaktadır.

Tuğla üretiminde ortaya çıkan diğer tehlike ise tozdur. Tuğla fabrikasında çalışan işçilerde tozdan dolayı göz tahrişi ve akciğer hasarları gibi sağlık sorunları meydana gelebilir (Şekil 2).



Şekil 2. Pişirilen tuğlalardan çıkan toz

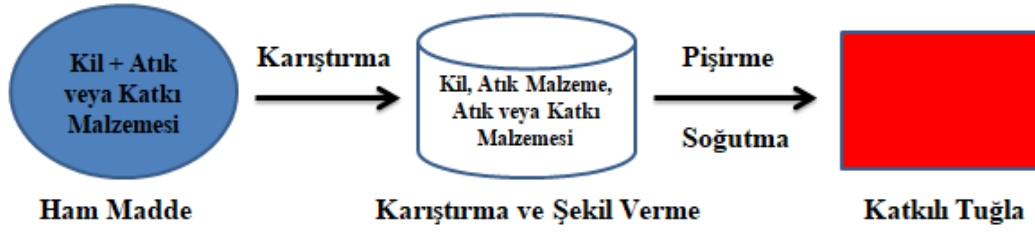
Tuğlaların taşınması sırasında kullanılan araçların yaktığı yakıtlar hammadde taşınmasından üretilmesinde olduğu gibi insan sağlığı ve çevreye etki etmektedir.

D. SÜRDÜRÜLEBİLİR TUĞLA ENDÜSTRİSİNDE ÇÖZÜM YOLLARI

İmalat endüstrisinin endüstriyel ekoloji uygulaması, kendi atık ürünlerini ve kendi üretim yöntemleriyle atıklarını geri dönüştüremeyen başka endüstrilerin atık ürünlerini kullanılabilir hale getirmek ve yeniden kullanmaktır. Depolanan endüstriyel atık ürünler geri dönüşümlü malzeme olarak kullanıldığında, tuğlanın daha ekonomik üretilmesi olanağı da sağlanabilmektedir.

D. 1. Kullanılan Kil Miktarının Azaltılması

Kil tuğlaları üretmek için gerekli hammaddelerin (doğal kil, kum, silt, vb.) kaynakları doğada azalmaktadır. Doğal kaynakların tüketilmesini azaltmak için çevre dostu alternatif bulmak dünya genelinde bir ihtiyaçtır. Atık maddelerin yapı malzemelerinde üretime dahil edilerek hammadde kullanılmasını azaltması bu soruna çözüm olarak sunulmaktadır. İşlenmiş atık çay, kauçuk, polistiren, uçucu kül, talaş, kireçtaşı tozu ve çamur gibi atıkları kil miktarını azaltarak tuğla üretim sürecine dahil etmek için birçok çalışma yapılmıştır [19].



Şekil 3. Katkılı tuğla örneklerinin üretim şeması.

Geleneksel tuğla üretim sürecinde kilin üretime hazırlanması için enerji harcanmaktadır. Hammaddenin çıkarılması araziye yani çevreyi olumsuz etkilemektedir. Üretilen tuğlaların fırınlama işlemleri sırasında tüketilen enerjinin yanında çok fazla sera gazı salınımı olmaktadır. Kil tuğlalarının sahip olduğu enerji yaklaşık 2.0 kWh ve bir tuğla yaklaşık olarak 0.41 kg CO₂ salmaktadır. Dünyada killerin doğal kaynaklarının kontrolsüz kullanımı kil kıtlığına sebep olmuştur. Bazı ülkeler örneğin Çin kil tuğlalarının kullanımına sınırlama getirmiştir [20].



Şekil 4. Üretimde kullanılan kil

Yapılan araştırmalarda tuğla üretiminde kullanılan kilin miktarı azaltılarak termik santral atığı olan uçucu kül, atık çamur, çay atıkları, çeltik kavuzu, cam kırıkları gibi malzemeler kullanılmıştır. Hammadde miktarını azaltmış, atık malzemeleri değerlendirmiş ve aynı zamanda tuğlaların fiziksel ve mekanik özelliklerinde bazı iyileştirmeler görülmüştür.

D. 2. Plastiklik Suyu Olarak Yağmur Suyu Kullanılması

Plastiklik suyu olarak içilebilir nitelikte su kullanılmaktadır. Atık sular ve içilemeyen sular genellikle yapılan analizlerde zararlı oldukları sonucu çıkmadığı sürece şebeke suyu yerine kullanılmışlardır. Tuğla fabrikalarında şebeke suyu kullanımını azaltmak amacıyla çatı oluklarını çatı seviyesine yakın yerleştirilmiş su depolarına bağlayarak suyun birikmesi sağlanabilir.

Klasik yağmur suyu toplama sisteminde; toplama yüzeyi, nakil sistemi, depolama sistemi ve dağıtım sistemleri olarak 4 aşama bulunmaktadır. Yağmur suyu, toplama yüzeylerinden toplanarak bir dizi oluk sistemi aracılığıyla depolara iletilmekte ve depolardan çeşitli alanlarda kullanmak için yeniden dağıtılmaktadır [21].

D. 3. Atık Tuğlaların Geri Dönüşüm Olarak Kullanımı

Atık tuğla yığınları genellikle tuğla fabrikalarında pişirildikten sonra şekil bozukluğu oluşan ve taşıma sırasında kırılmalar meydana gelen tuğlalardan oluşur. Bunların bir kısmı toz haline getirilerek

hammaddeye karıştırılır. Araştırmacılar atık tuğlaları genellikle beton agregası ve çimentoya ikame olarak kullanmışlardır.

Kentsel dönüşümün hızlanması ile ömrünü dolduran binaların yıkımından fazla miktarda kil tuğlası atığı ortaya çıkmaktadır. Yapılan istatistiklere göre kentsel dönüşümlerde inşaat atıklarının %50-70'ini ve inşaat işlerinin de %30-50'sini kil tuğlaları oluşturmaktadır. Fabrikalarda tuğla üretim sürecinde standarda uymayan çok sayıda tuğla üretilmektedir. Özellikle son yıllarda tuğlaların geri dönüştürülmesi çok fazla ilgi görmektedir. Tuğlaların geri dönüştürülmesinin ve kullanımının geliştirilmesi gerekmektedir [22].

Kentleşmenin hızlanması çok büyük miktarda yıkılan yapıların atıklarını ortaya çıkarmaktadır. ABD ve Avrupa Birliği her yıl sırayla 700 milyon ve 800 milyon kentsel dönüşümlerde inşaat atığı üretmektedir. Çin dünyanın gelişmekte olan en büyük ülkesi olarak her yıl 1.8 milyar ton inşaat atığı üretiyor ve kentleşme hız kazandıkça üretmeye artarak devam edecektir. İnşaat yıkım atıkları birikerek arazileri doldurmakta ve çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Bu nedenle inşaat yıkım atıklarının geri dönüştürülerek azaltılması ve çevreye olan etkisinin çözülmesi dünyayı ilgilendiren bir sorundur [23].

D. TUĞLA ÜRETİMİNDE ATIK VE KATKI KULLANIMI ÜZERİNE YAPILAN AKADEMİK ÇALIŞMALAR

Esmeray ve Atış yaptıkları çalışmada, tuğla üretiminde kanalizasyon çamurunun kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Kanalizasyon çamuru %5, %10, %15 oranlarında tuğla kiline eklenmiş 900°C ve 1050°C de pişirilmiştir. Kanalizasyon çamurunun üretilen tuğlaların dayanım değerleri üzerinde olumsuz bir etki yaptığı ancak sıcaklık artışının dayanımı olumlu etkilediği görülmüştür [24].

Levent tarafından yapılan çalışmada kırmızı çamurun katkı olarak tuğla kiline ilave edilerek tuğla özelliklerine etkisi incelenmiştir. Tuğla kiline ağırlıkça %0 (kontrol serisi), %5 ve %10 oranında kırmızı çamur ilave edilerek numuneler üretilmiştir. Tuğla numuneleri pişirilirken 3 farklı sıcaklık (800°C, 900°C, 1000°C) kullanılmıştır. Pişirilmiş numuneler üzerinde uygulanan mekanik ve fiziksel deneylerin sonucu olarak % 10 katkılı ve 1000°C' de pişirilmiş numunelerin basınç dayanımını arttırdığı görülmüştür. Pişirilmiş kırmızı çamur katkılı tuğla numunelerinin renklerine bakıldığında referans numunelere göre daha kırmızı olduğu görülmüştür[25].

Emrulloğlu ve Emrulloğlu yaptıkları çalışmada tuğla üretiminde Kırka boraks atığı ile Afyon Reis mermer atığının kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Araştırmalarında farklı karışımlar hazırlamışlar ve farklı sıcaklıklarda sinterlemişlerdir. Boraks atıklarının bağlayıcı özellikleri, sıvı faz oluşturmaları ve soğuyunca katılaşmaları sebebiyle 600-700°C'lerde sıvı fazın sinterleşmeyi sağladığını saptamışlardır. Karışımlarda mermer atığı oranı arttıkça; pişme küçülmesi, gözenek miktarı, kızdırma kaybı, basma dayanımı, su emme ve yoğunluk değerlerinin de arttığı görülmüştür [26].

Ulusoy, tarafından yapılan çalışmada, tuğla hammaddesine %5, 10 ve 20 oranlarında atık uçucu tekstil külü ve bazaltikpomza ikame edilerek, 700, 900, 1050 °C sıcaklıklarda pişirilmiştir. Katkılı tuğlaların mekanik özelliklerinin, katkısız tuğla örneklerine göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür [27].

Yüksek ve Kaya (2017) çalışmalarında, hafif yapı tuğlası üretiminde Kangal Termik santrali atığı uçucu kül ile alçı ve kirecin farklı oranlarda karışımlarını araştırılmışlardır. %70 alçı, %10 uçucu kül ve %20 oranında kullanılan karışımın diğer oranlardaki karışımlara göre daha optimal değerlere sahip olduğu görülmüştür. Kızılgut ve arkadaşları (2001) çalışmalarında, Çatalağzı termik santralinin atığı uçucu külün tuğla üretiminde kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Yapılan çalışmaya göre %30-40 oranında tuğla kili ve uçucu kül karışımı kullanımıyla uygun özellikte tuğla üretilebileceği ve tuğla üretiminde meydana gelen ve kireç kusmasından meydana gelen beyazlaşmanın ortadan kalktığı belirlenmiştir [28,29].

Kumarasamy ve arkadaşları, araştırmalarında, tuğla üretiminde uçucu külün optimum kullanım oranının tespitini amaçlamışlardır. Araştırma sonucunda uçucu kül kullanımının tuğla özelliklerine olumlu etkisinin görüldüğünü ve optimum kullanım oranının %20 olduğu sonucuna varmışlardır [30].

Abbas Al Amara, yapmış olduğu tez çalışmasında, bor atığı ve uçucu kül kullanarak geopolimer tuğla üretmiştir. Çalışmada da dayanımlı ve yalıtım özelliği yüksek geopolimer tuğla üretmeyi amaçlamıştır. Bor atığı oranları (%10, %20, %30, %40, %50 ve %60) değiştirilerek kullanılmış ve %10 oranında uçucu kül sabit tutularak üretim yapılmıştır. Üretilen geopolimer tuğla örnekleri üzerinde birim hacim ağırlık, porozite, su emme, ısı iletkenlik katsayısı deneyi, eğilme de çekme ve basınç deneyleri uygulanmıştır. Üretilen tuğla örneklerine yapılan deneylere göre su emme, birim hacim ağırlık, porozite ve ısı iletkenlik katsayısında azalma meydana gelmiştir. Bor atığı katkısı %50 oranına kadar kullanıldığında basınç dayanımında artma, daha fazla oranda kullanımında basınç dayanımında azalma meydana getirmiştir. Eğilmede çekme deneyinde ise tam tersi olarak bor atığı katkısı %50 oranına kadar kullanıldığında azalma, %60 oranda kullanımında azalma meydana getirmiştir. Uçucu kül ve bor atığının kullanımının tuğla üretiminde olumlu sonuçlar verdiği ve çevre sağlığı bakımından da olumlu olacağı tespit edilmiştir [31].

İnceyol, çalışmasında, atık kil içeren topraklar ile atık cam parçalarını farklı oranlarda ve farklı sıcaklıklarda pişirerek fiziksel özellikleri iyi olan tuğla üretmeyi hedeflemiştir. Pişirme sıcaklığının artırılmasıyla kızdırma kaybı, su emme ve dayanım gibi özelliklerinde arttığı görülmüştür. Üretilen katkılı tuğlalardan pişirme sıcaklıkları 900 °C ve üzerinde pişirilenler referans tuğlaya yakın değerler vermiştir. Cam atığı katkısının üretilen tuğla örneklerinin fiziksel özelliklerine olumlu yönde etki ettiği görülmüştür [32].

Bergil tez çalışmasında, kırılmış cam elyaf ile polipropilen lif kullanılarak ağırlıkça % 0 (katkısız), % 0,5 , % 1 ve % 1,5 oranlarında killi toprağa ikame edilerek tuğla üretimi gerçekleştirmiştir. Üretilen katkılı tuğla örneklerine kızdırma kaybı, birim hacim ağırlık, basınç ve eğilme dayanımları testleri yapılmıştır. Katkı oranının artmasıyla pişirilmiş örneklerde basınç ve eğilme dayanımları artmış, pişirilmemiş örneklerde ise basınç ve eğilme dayanımları azalmıştır. Pişirilmemiş numunelerde katkı oranının artmasıyla hacim ve birim hacim ağırlığının azaldığı görülmüştür [33].

Aykut, tez çalışmasında, tuğla üretiminde traverten ve Bayburt taşı atıkları ile sodyum hidroksiti geopolimerizasyon yöntemiyle kullanmış ve yüksek dayanımlı tuğla üretimini amaçlamıştır. Hamur haline getirilen numuneler küre bırakılarak sonrasında 20, 40, 80 °C sıcaklıklarda pişirilerek sertleştirilmiştir. Sertleşen örnekler üzerinde basınç ve eğilme dayanımı, priz başlama ve bitişi, birim hacim ağırlık, aşınma dayanımı, su emme gibi deneyler yapılmıştır. Alınan değerler referans ile karşılaştırıldığında daha ekonomik, yüksek dayanımlı, çevre dostu malzeme olduğu sonucuna varılmıştır [34].

Ertaş tez çalışmasında, kil ile bor atığı, atık kül, alümit, kalsine manyeziti farklı oranlarda karıştırarak laboratuvarında presleme yöntemiyle tuğla örnekleri üretmiştir. 6 adımda sıcaklık artırılarak 900 °C' de tuğla örnekleri pişirilmiştir. Üretilen tuğla örneklerine fiziksel ve mekanik testler yapılmıştır. Yapılan deney sonuçlarına göre kızdırma kaybı, porozite, dayanım gibi özelliklerinde iyileşmeler gözlenmiştir [35].

Abbas ve arkadaşları, araştırmalarında, termik santrallerden atığı uçucu kül ve kil kullanarak tuğla üretmişlerdir. Tuğla örneklerinde %0-%25 arasında uçucu kül kullanmışlardır. Çalışmanın sonucunda uçucu kül içermeyen tuğla örneklerinin basınç dayanımının uçucu kül içeren örneklerle göre daha iyi olduğunu bildirmişlerdir. %20 uçucu kül kullanımında Pakistan Yönetmeliklerine göre minimum gerekliliği karşıladığı, tuğla ağırlığında azalma olduğundan dolayı bina ölü yükünün azaldığı ifade edilmiştir. Uçucu kül kullanılan tuğla örneklerinde çiçeklenmenin az gözleendiği sebebiyle ekonomik açıdan daha sürdürülebilir üretime yardımcı olacağı belirtilmiştir [36], [37].

Zawrah ve arkadaşları araştırmalarında, geopolimer tuğla üretimi için yüksek fırın cürufu ve kil kullanarak üretim yapmışlardır. Tuğla üretiminde yüksek fırın cürufu %20, %40, %60 ve %80

oranlarında kullanılmıştır. Geopolimer üretimde kür sürelerinin etkisini de araştırmışlardır. Sonuç olarak üretilen tuğlalarda geri dönüşüm sürecinin başarılı olduğu sonucu kanıtlanmıştır [38].

Amin ve arkadaşları, yapmış oldukları araştırmada, seramik karo malzeme imalatı sürecinde çıkan atık ince toz malzemeyi tuğla üretim sürecinde kullanmışlardır. Çalışmalarında %1 sodyum hidroksit seviyesinde kostik soda ve %6-%10 arasında sönmüş kireç kullanmışlardır. Atık malzemelerin kullanımında ekonomik açıdan önemli bir azalma görülmüştür [37], [39].

IV. SONUC

Çalışmada incelenen araştırmalar sonucunda aşağıdaki sonuçlara varılmıştır;

- ✓ Tuğlaların yaşam döngüsü incelendiğinde çıkan etkiler ülkedeki hammadde rezervlerinin tüketilmesi, fosil yakıtların tüketilmesi ve su kaynaklarının tüketilmesidir.
- ✓ Tuğla üretiminde atık kullanılması doğal kaynakların ve verimli toprakların korunmasını ve tuğlanın fiziksel ve mekanik özelliklerini olumlu etkilemektedir.
- ✓ Yapılan üretimin çevre dostu olması için endüstriyel atıklar hammadde olarak kullanılabilir.
- ✓ Tuğla üretiminde atık kullanılması fiziksel özelliklerinde olumlu etkisinin yanında ekonomik olma durumu da söz konusudur.
- ✓ Geopolimer tuğlalar, mevcut tuğlalara göre hafif, gözenekli ve yüksek dayanımlı olduğu görülmektedir.
- ✓ Tuğla üretiminde atık kullanılması ile genellikle tuğla örneklerinin porozitelerinin arttığından hafif tuğla üretimi yapılmaktadır.
- ✓ Tarım atıkları kullanılan tuğla üretimlerinde tuğla bünyesinde yanan atıklar boşluk oluşturarak ısı yalıtım özelliklerini iyileştirmektedir.

Kolay üretimiyle inşaat sektörünün gözdesi olan tuğlaların üretimi her geçen gün artmaktadır. Diğer yandan da tarımsal arazilerdeki ham maddelerinde azaldığı bilinmektedir. Bunun içindir ki araştırmacılar hammadde miktarını azaltmak ve geleneksel tuğlaya göre özellikleri iyileşmiş tuğla üretmek için araştırmalar yapmaya devam etmektedir.

V. KAYNAKLAR

[1] Turan, E., “Bor atığı kil pestillerinin mühendislik özellikleri ve yüksek plastisiteli kilin stabilizasyonunda kullanılabilirliği”, Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye, 2019.

[2] Iftikhar S, Rashid K, Ul Haq E, Zafar I, Alqahtani F K, Iqbal Khan M., “Synthesis And Characterization of Sustainable Geopolymer Green Clay Bricks An Alternative To Burnt Clay Brick,” *Construction and Building Materials*, 259, 1–10, 2020.

[3] Aydın, B., “Sürdürülebilir Çelik Uygulama Olanakları”, Yüksek Lisans Tezi, Mimarlık Ana Bilim Dalı, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2011.

[4] Berber, F., “Ekolojik Malzemenin Tasarımdaki Yeri ve Ekolojik Malzemeyle Mimari Konut Tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, Mimarlık Ana Bilim Dalı, Haliç Üniversitesi. İstanbul, Türkiye, 2012.

- [5] Sev, A., *Sürdürülebilir Mimarlık*, YEM Yayınevi, 2009.
- [6] Yılmaz, S., “Afet Sonrası Geçici Barınmanın Çevresel Ekonomik ve Sosyal Sürdürülebilirliğinin Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Yapı Bilgisi Ana Bilim Dalı, Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, Türkiye, 2021.
- [7] Ganesh C, Muthukannan M, Aakash S, Prasad, Subramanian B., “Energy Efficient Production of Geopolymer Bricks Using Industrial Waste,” IOP Conference Series: *Materials Science and Engineering*, 872, 1–8, 2020.
- [8] Kırgız, M. S., “Mermer ve Tuğla Endüstrisi Atıklarının Çimento Üretiminde Minerolojik Katkı Olarak Kullanılması”, Doktora Tezi, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2007.
- [9] Özçay, Ü. “Kiremit Sektöründeki Endüstriyel Atıkların Geri Kazanılması,” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2010.
- [10] Yanık, G., “Turgutlu (Manisa) Neojen Oluşuklarının Tuğla Kiremit Hammaddesi Yönünden Minerolojik Petrografik ve Jeokimyasal incelenmesi”, Doktora tezi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2005.
- [11] Bayraktar, O.Y., “Sürdürülebilir Bir Materyal Olarak Tuğla Tozunun Potansiyel Kullanımı,” ISAS-Winter, Samsun, Turkey, 2018.
- [12] Yeang K., *Designing With Nature : The ecological basis for architectural design*, McGraw-Hill, New York, 1995.
- [13] Calkins M., *Materials For Sustainable Sites : a complete guide to the evaluation, selection, and use of sustainable construction*, Wiley, Hoboken, N.J. 2009.
- [14] Arcasoy, A. *Seramik Teknolojisi*. Marmara Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi Yayınları. syf.277 İstanbul, (1983).
- [15] Dönmez, S. *Yapı Bilgisi 3. (Çeviri)*. Yüksek Öğretim Kurulu Yayını, 149-173, Ankara, 1993.
- [16] ÖNEŞ, A. *İnşaat Malzeme Bilgisi*. Ankara Üniv. Ziraat Fakültesi Yayınları:1094, Ders Kitabı:315, s. 67-75, Ankara. 1988.
- [17] EKMEKYAPAR, T. VE ÖRÜNG, I., *İnşaat Malzeme Bilgisi*. Atatürk Üniv. Ziraat Fakültesi Ders Yayınları No: 145, s. 22-36, Erzurum. 1993.
- [18] Şahin, Ş. E. Ham ve Kalsine Kolemanit Atıklarının Tuğla Yapımında Kullanım Olanaklarının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, F.B.E., Kütahya, 38. 2008.
- [19] Khater H M., Ezzat M., El Nagar A M., “Engineering of Low Cost Geopolymer Building Bricks Applied For Various Construction Purposes,” *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 7, 81–99, 2016.
- [20] Zhang L., “Production of bricks from waste materials” *Construction and Building Materials*, 47, 643–655, 2013.
- [21] Aslan, D., “Binalar aracılığıyla yağmur suyu toplama stratejilerine biyomimetik bir yaklaşım,” Yüksek Lisans Tezi, Mimarlık Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2019.

- [22] Cheng H., “Reuse Research Progress on Waste Clay Brick,” *Procedia Environmental Sciences*, 31, 218–226, 2016.
- [23] He Z, Shen A, Wu H, Wang W, Wang L, Yao C, Wu, J, “Research Progress on Recycled Clay Brick Waste As An Alternative To Cement For Sustainable Construction Materials,” *Construction and Building Materials*, 274, 1–13. 2021.
- [24] Esmeray, E., Atıs, M. Utilization of sewage sludge, oven slag and fly ash in clay brick production. *Construction and Building Materials*, 194, 110-121, 2019.
- [25] Levent M. Kırmızı Çamur Katkılı Tuğla Üretiminin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi Afyon Kocatepe Üniversitesi. Afyonkarahisar, 2012.
- [26] Emrulloğlu, Ö. F.; Emrulloğlu, C. B. ve Temel, P., , Etibor Kırka Boraks Atığı İle Afyon Reis Mermer Atığından Beyaz Tuğla Üretiminin Araştırılması, I. Uluslararası Bor Sempozyumu, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, s. 229-234, 2002.
- [27] Ulusoy, A., Uçucu Kül-Tekstil Fabrikası Atık Külü Ve Bazaltik Pomzanın Tuğla Üretiminde Katkı Olarak Kullanılması. Yüksek Lisans Tezi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş. 2008.
- [28] Yüksek, S., Kaya, S. Kömür Baca Külü, Kireç ve Gips Ürünlerinden Yapı Malzemesi Yapımı. *APJES* vol. 5, pp. 58-70, 2017.
- [29] Kızıgut, S., Çuhadaroğlu D., Çolak, K. Çatalağzı Termik Santral Uçucu Küllerinden Tuğla Üretim Olanaklarının Araştırılması. Türkiye 17. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi-TUMAKS. 2001.
- [30] Kumarasamy, V., Sampath, R., Kandasamy, S., “Experimental Study on Hardened Mechanical and Durability Properties of Industrial Ash Bricks,” *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 1-8. 2021.
- [31] Abbas Al Amara, S. N., “Uçucu kül tabanlı geopolimer tuğla üretiminde bor atığı kullanımının etkisi,” Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Kırşehir, Türkiye, 2022.
- [32] İnceyol, M., “Adıyaman yerleşim alanlarından çıkan killi toprağın soda camı katkısı ile tuğla üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması,” Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Adıyaman Üniversitesi, Adıyaman, Türkiye, 2019.
- [33] Berkgil, M., “Kırpılmış cam elyaf ve polipropilen katkılu tuğla üretimi,” Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İnönü Üniversitesi, Malatya, Türkiye, 2019.
- [34] Aykut, C., “Bayburt taşı atıklarının geopolimer tuğla üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması,” Yüksek Lisans, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Bayburt Üniversitesi, Bayburt, Türkiye, 2017.
- [35] Ertaş, Nihal Y., “Bazı atık maddelerin tuğla üretiminde değerlendirilmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Kimya Ana Bilim Dalı, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, Türkiye, 2017.
- [36] Abbas, S., Saleem, M. A., Kazmi, S.M.S. ve Munir, M. J., “Production of sustainable clay bricks using waste fly ash: mechanical and durability properties,” *Journal of Building Engineering*, 14, 7-14, 2017.
- [37] AL AMARA, S. N. A., & ÇAĞLAR, A., “Geopolimer Tuğla Üretiminde Atık Kullanımı

Üzerine Yapılan Akademik Çalışmalar,” *Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi*, c.5, s.2, 171-176, 2022.

[38] Zawrah M F, Gado R A, Feltin N, Ducourtieux S, Devoille L., “Recycling and Utilization Assessment of Waste Firedclay Bricks (Grog) With Granulated Blast-Furnaceslag For Geopolymer Production,” *Process Safety and Environmental Protection*, 103, 237–251, 2016.

[39] Amin, S.K., Sherbiny, AboEl-Magd, S.E.A., Belal, A., Abadir, M.F. “Fabrication of geopolymer bricks using ceramic dust waste,” *Construction and Building Materials*, vol.157, 610-620, 2017.