

Duvar Dolgu Malzemelerinin İnşaat Sektöründeki Pazar Hacminin Tuğla, Briket ve Gaz Beton Özelinde Analizi

Yusuf EŞİDİR^{1*}, Arzuhan Burcu GÜLTEKİN²

¹ Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği (Teknoloji Fakültesi) Anabilim Dalı, 06560, Ankara

² Gazi Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 06570, Ankara

¹ <https://orcid.org/0000-0003-0221-729X>

² <https://orcid.org/0000-0003-1246-6468>

*Sorumlu yazar: yusufesidir@gmail.com

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 22.05.2024

Kabul tarihi: 20.12.2024

Online Yayınlanma: 12.03.2025

Anahtar Kelimeler:

Tuğla

Briket

Gaz beton

Duvar dolgu malzemeleri

Yapı malzemeleri

ÖZ

Tuğla, briket ve gaz beton, Türkiye’de duvar yapımında yaygın olarak kullanılan yapı malzemeleridir. Çimento içeriklerinden dolayı briket ve gaz beton, tuğlaya göre daha fazla sera gazı emisyonuna sebep olmaktadır. Ancak son yıllarda tuğlanın inşaat sektöründeki payı azalırken briket ve gaz betonun artmaktadır. Bu çalışmanın amacı, tuğla, briket ve gaz betonun imalat sanayi içindeki üretim ve satış miktarları ile üretim ve satış değerlerinin belirlenmesi ve karşılaştırmalı olarak inşaat sektöründeki pazar hacimlerinin analiz edilmesidir. Söz konusu amaç çerçevesinde, Türkiye İstatistik Kurumunun Yıllık Sanayi Ürün (PRODCOM) İstatistikleri veri tabanı kullanılarak tuğla, briket ve gaz betonun üretim ve satış miktarları ile değerlerinin değişimleri analiz edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, son yıllarda tuğlanın pazar hacminde azalma olduğu, bu azalmanın ise brikete artış olarak yansıdığı bulgusuna ulaşılmıştır. Sonuç olarak, briket ve gaz betona göre daha az sera gazı emisyonuna sebep olan tuğlanın sektördeki payını arttırmaya yönelik öneriler sunulmuştur. Bu çalışmanın, tuğlanın inşaat sektöründeki pazar hacmi kaybının daha sürdürülebilir üretim teknikleri geliştirilerek artırılması ve sektörde konuya ilişkin farkındalık kazandırılması açısından katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

Analysis of the Market Volume of Wall Filling Materials in the Construction Industry for Brick, Briquette and Aerated Concrete

Research Article

Article History:

Received: 22.05.2024

Accepted: 20.12.2024

Published online: 12.03.2025

Keywords:

Brick

Briquette

Aerated concrete

Wall filling materials

Construction materials

ABSTRACT

Brick, briquette and aerated concrete are construction materials commonly used for construction of walls in Türkiye. Briquettes and aerated concrete cause more greenhouse gas emissions than bricks, due to their cement content. However, in recent years, the share of brick in the construction sector has been decreasing while the share of briquette and aerated concrete has been increasing. The aim of this study is to determine the production and sales quantities and production and sales values of brick, briquette and aerated concrete in the manufacturing industry and to analyze their market volumes in the construction sector comparatively. Within the framework of this aim, the changes in the production and sales quantities and values of brick, briquette and aerated concrete were analyzed using the Annual Industrial Product (PRODCOM) Statistics database of the Turkish Statistical Institute. As a result of the analysis, it was found that there has been a decrease in the market volume of brick in recent years and this decrease has been reflected as an increase in the market volume of briquette. As a result, recommendations were made to increase the share of brick in the construction sector, which causes less greenhouse gas emissions than briquettes and aerated concrete. This study

is expected to contribute to increasing the loss of market volume of brick in the construction sector by developing more sustainable production techniques and raising awareness in the sector.

To Cite: Eşidir Y., Gültekin AB. Duvar Dolgu Malzemelerinin İnşaat Sektöründeki Pazar Hacminin Tuğla, Briket ve Gaz Beton Özelinde Analizi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2025; 8(2): 652-667.

1. Giriş

Tuğla, briket ve gaz beton, Türkiye’de duvar yapımında yaygın olarak kullanılan yapı malzemelerindendir. Tuğla, doğada hazır halde bulunan hammaddelerin (kil ve su) kullanılması ile elde edilen bir malzeme olduğundan briket ve gaz betona göre daha çevre dostu olduğu söylenebilir. Briket ve gaz beton üretiminde kullanılan çimento, bu yapı malzemelerinin üretimini nispeten daha karbon yoğun yapmaktadır. Yapı malzemelerinin üretim evresindeki çevresel etkilerin belirlenmesinde Yaşam Döngüsü Değerlendirme (YDD) metodolojisi son yıllarda sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. YDD metodolojisi “bir ürün sisteminin yaşam döngüsü boyunca girdi ve çıktılarının ve potansiyel çevresel etkilerinin derlenmesi ve değerlendirilmesi” olarak tanımlanmaktadır (ISO 14040, ISO 14044). YDD metodolojisi kullanılarak hazırlanan Çevresel Ürün Beyanı (EPD) ise “aynı işlevi yerine getiren ürünler arasında karşılaştırma yapılmasını sağlamak için bir ürünün yaşam döngüsüne ilişkin çevresel bilgileri ölçüldüğü” belgeyi ifade etmektedir (ISO 14025). YDD metodolojisinin aşamalarından biri de ürünün üretim sürecindeki malzeme ve enerji girdileri ile üretim evrelerinin tanımlandığı “Yaşam Döngüsü Envanteri” aşamasıdır. Bu aşamada ürünün içeriği ve üretim yöntemine ilişkin bilgiler de yer almaktadır. Tuğla, briket ve gaz betonun çevresel etkilerinin ortaya konduğu EPD’lerde üretim süreci ve üretimdeki girdi-çıktılar incelenerek bu yapı malzemelerinin içeriğinde bulunan hammaddeler ve üretim yöntemlerine ilişkin bilgiler derlenmiştir. Tuğla ile ilgili EPD’lerde (The Brick Development Association, 2019; The Brick Industry Association, 2020; Kingscourt Brick, 2021, Saray Tuğla, 2022; Shaw Brick, 2022) tuğla yapımında %95-99 oranında kil ve çok az miktarlarda kalsit, baryum, manganez, kromoks gibi katkı maddeleri kullanıldığı belirtilmiştir. Bazı fabrikalarda kil ile killi şistin karıştırılarak kullanıldığı belirtilmiştir. Killi şist, kil minerallerinin oluşturduğu tortul kayaçlardır (Neser, 2023). Dolayısıyla killi şist karıştırılan tuğla da içerik bakımından killi olan tuğladan çok farklı değildir. Şeker kamışı, kum, atık tuğla kırıntılarının da bazı tuğlaların üretiminde içeriğe dâhil edildiği görülmüştür.

Briket, uluslararası literatürde kullanılan bir yapı malzemesi türü değildir. Türkiye’de briket olarak ifade edilen ürün literatürde “prefabrik beton blok” olarak geçmektedir. Briket, kum ve çimentonun birleştirilmesiyle elde edilmiş harç ya da bu harcı içeren birtakım agregaların sıkıştırılmış blok hali olarak tanımlanmaktadır (Globmac, 2024). Üretimde agrega olarak ponza kullanıldığı durumda bu malzeme “Bims” olarak adlandırılmaktadır (BlokBims, 2024). Yani Türkiye’de “briket” olarak bilinen ancak literatürde “prefabrik beton blok” olarak tanımlanan malzeme çimento, agrega ve suyun karıştırılması ile elde edilen, bazen katkı maddelerinin de içeriğine dâhil edildiği standart betonun dolgu duvar yapımına uygun olarak şekil verilmiş halidir. Briket ile ilgili EPD’ler (The United Basalt Products Limited, 2020; Prefabricados Etxeberria, 2021; Envirocon, 2022) de bu durumu doğrular niteliktedir.

Gazbeton ile ilgili EPD'ler incelendiğinde (Gaziantep Ytong, 2020; Türk Gazbeton, 2024) üretiminde kuvarsit veya silisli kum, çimento, alçıtaşı, sönmemiş kireç, alüminyum tozu kullanıldığı görülmektedir. Gazbeton üretiminde kullanılan malzemeler ve üretim süreci tuğla ve brikete göre daha standardizedir. Farklı varsayımlar ve koşullar altında yaşam döngüsü değerlendirme metodolojisi kullanarak tuğla, briket ve gaz beton kullanımını kıyaslayan çalışmalara literatürde rastlanmaktadır. Pons ve ark. (2018) gabyon duvar, yağma duvar, betonarme ağırlık duvarı ve betonarme konsol duvar olmak üzere dört farklı duvar tipini Yaşam Döngüsü Değerlendirme metodolojisi kullanarak kıyaslamıştır. Yapılan kıyaslama sonucunda içinde beton barındıran duvarların çevresel etkilerinin daha yüksek düzeyde olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Gabyon duvarların yağma duvarlara göre çok az miktarda daha az çevresel etkiye sebep olduğu bulunmuştur. Betonarme duvarların yaşam döngüsü sonunda geri dönüştürülerek tekrar yapı veya dolgu malzemesi olarak kullanılmasının, betonarme ağırlık duvarlarında %17,5-33,8 ve betonarme konsol duvarlarda %9,6-12,4 oranlarında çevresel etkileri azaltıcı tesire sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Maia de Souza ve ark. (2016) Brezilya'da yaygın olarak kullanılan üç farklı duvar tipini Yaşam Döngüsü Değerlendirme metodolojisi kullanarak incelemiştir. Çalışmada, seramik blok, beton blok ve yerinde dökme betonarme duvar tipleri kıyaslanmıştır. Beton üretim sürecinin, çevresel etkilerin artmasında oldukça etkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Zastrow ve ark. (2017) İspanya'da bulunan otuz istinat duvarını Yaşam Döngüsü Değerlendirme metodolojisi kullanarak incelemiştir. Duvarlarda beton malzeme kullanımının çevresel etkiyi artıran en önemli faktör olduğu saptanmıştır. Duvar yüksekliğinin artması ile birlikte mekanik dayanıklılığın sağlanabilmesi için daha birim hacimde fazla çelik kullanımına gereksinim duyulduğu ve bunun da çevresel etkiyi artırdığı tespit edilmiştir. Ayrıca, geri dönüştürülmüş malzeme kullanımının çevresel etkiyi önemli ölçüde azaltıcı etkisi olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Literatürde yer alan bilgiler, yapı malzemelerinde kullanılan çimento miktarının artmasıyla olumsuz çevresel etkilerin de arttığını göstermektedir. Duvar yapımında yaygın olarak kullanılan üç farklı yapı malzemesi olan tuğla, briket ve gaz beton içinden tuğlanın üretiminde çimento kullanımına gerek duyulmamaktadır. Bu sebeple, briket ve gaz betona kıyasla daha çevre dostu ve sürdürülebilir bir yapı malzemesi olduğu görülmektedir. Bu üç duvar malzemesinin inşaat sektörü içinde gördüğü arz ve talep dengesindeki değişime bağlı olarak üretim miktarı, kârlılığı, sektörde tercih edilme durumu ve üreticilerin sektöre girme isteği gibi hususlar değişkenlik göstermektedir.

Türkiye'nin sanayide yeşil dönüşümü gerçekleştirerek sera gazı emisyonlarını azaltması ve 2053 net sıfır emisyon hedefinin (UNFCCC, 2024) gerçekleştirilmesi için yapı malzemelerinin üretiminde ve kullanımında çevre dostu yapı malzemelerine öncelik sağlanacak şekilde yapı malzemeleri üretim sektörlerini yönlendirmesi ve desteklemesi gerektiği düşünülmektedir. Bunun yapılabilmesi için ise aynı işleve sahip yapı bileşenlerinin farklı yapı malzemeleri ile üretiminin ekonomik büyüklükler açısından kıyaslanarak ortaya konması, üretim ve tüketim trendinin değişimini vermesi ve inşaat sektörünün çevre

dostu yapı malzemeleri lehine şekillendirilmesine olanak sağlaması bakımından analiz edilmesi önem arz etmektedir.

Bu çalışmanın amacı, tuğla, briket ve gaz betonun imalat sanayi içindeki üretim ve satış miktarlarının ve değerlerinin belirlenmesi ve karşılaştırmalı olarak inşaat sektöründeki pazar hacimlerinin analiz edilmesidir. Bu çalışma kapsamında tuğla, briket ve gaz betonun 2005-2022 yılları arasında inşaat sektöründeki üretim miktarı, üretimin para cinsinden değeri, satış miktarı, satışların para cinsinden değeri ve üretime dâhil olan girişimci sayısı kıyaslanmıştır. Böylece, tuğla, briket ve gaz betonun sektörel büyüklükler açısından değişimi analiz edilmiştir. Yapılan analizlerde, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından yıllık olarak yayımlanan “Yıllık Sanayi Ürün İstatistikleri” verisi kullanılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, son yıllarda inşaat sektöründe tuğla üretiminin ve kullanımının azaldığı, bu azalmanın briket yönünde bir artışa evrildiği bulgusuna ulaşılmıştır. Buna rağmen inşaat sektöründe briket ve gaz betona göre tuğlanın hala en çok kullanılan duvar dolgu malzemesi olduğu tespit edilmiştir. Tuğlanın sektördeki pazar hacmi kaybının telafi edilmesi için tuğlanın çevre dostu bir yapı malzemesi olduğunun daha fazla vurgulanması, sektörde bu konuda farkındalığın artırılması, tuğlanın emisyon değerlerinin yaşam döngüsü değerlendirme metodolojisi ile sayısal ve objektif olarak ilgili paydaşlara sunulması gerektiği sonuçlarına ulaşılmıştır.

2. Kavramsal Çerçeve

Tuğlanın üretim süreci; hammaddesi olan kilin maden ocağından çıkarılması, tuğla fabrikasına taşınarak depolanması, hammaddenin hazırlanması, şekillendirilmesi, kurutulması, pişirilmesi ve paketlenmesi aşamalarından oluşmaktadır. Tuğla yapımı için maden ocağından çıkan killi toprak, içinde bulunan taş, bitki ve diğer yabancı malzemelerden arındırılarak ve öğütülerek homojen bir hale getirilmektedir. Homojen hale gelen malzeme ezilerek ve su ile karıştırılarak yoğrulmaktadır. Karıştırma ve yoğurma işlemleri, iyi bir plastik özellik elde etmek için kütlenin homojenleşmesini sağlamaktadır. Hazırlanan kil karışımı daha fazla homojenleşmenin sağlanması amacıyla büyük hacimli tesislerde depolanarak dinlendirilmektedir. Dinlendirmenin amacı, gerekli incelikte toz haline getirilmiş hammaddelerin daha fazla gevşemesinin ve homojen su dağılımının sağlanmasıdır. Bu işlem, tuğlada çatlakların ve mikro çatlakların oluşumunu engellenmesi için yapılmaktadır. Plastik kıvama gelmiş, homojen olan kil toprak kalıplama, presleme ya da ekstrüzyon yöntemlerinden biri kullanılarak şekillendirilmektedir. Kile şekil verildikten sonra bünyesinde bulunan su ve nemden arındırılarak sertleşmesi için doğal veya suni kurutma işlemi yapılmaktadır. Kurutulan tuğlalar fırınlarda 900-1000 °C sıcaklıkta pişirilerek kullanıma hazır hale getirilmektedir (Almeida ve ark., 2010; Kingscourt Brick, 2021; Saray Tuğla, 2022; Özdemir Toprak Sanayi, 2024).

Briketin üretim süreci; agrega, su, çimento ve gerekli durumlarda katkı maddelerinin karıştırılması ile elde edilen betonun kalıplara dökülerek şekil verilmesi, kürlenmesi ve paketlenmesi aşamalarından oluşmaktadır. Gerekli miktarda kum, çakıl (hafif agrega kullanılacaksa ponza taşı) ve çimento karıştırılarak mikserde su ve diğer katkı maddelerinin eklenmesi ile beton harcı elde edilmektedir. Beton

harcı blok makinelerine aktarılarak burada sıkıştırılmaktadır. Betondaki hava boşluklarının alınması için vibrasyon uygulanmaktadır. Şekil verilen, sıkıştırılan ve havası alınan beton bloklar kürlenerek mukavemet kazanması için kür odalarına aktarılmaktadır. Daha sonra paketlenerek nakliyyeye hazır hale getirilmektedir (Prefabricados Etxeberria, 2021; Roadstone, 2022; Globmac, 2024).

Gazbetonun üretim süreci; kuvarsit, alçı taşı, çimento, kireç karışımına su ve alüminyum tozu eklenerek karıştırılması, alüminyumun alkali ortamda reaksiyona girmesi, otoklavlama, kürlenmesi ve paketlenmesi aşamalarından oluşmaktadır. Betonun içindeki alüminyum alkali ortamda reaksiyona girerek hidrojen gazı açığa çıkarmakta, bu gazın genişmesi ile betonun içinde kabarcıklar oluşarak süngerimsi bir yapı oluşmaktadır. Daha sonra bu karışım kalıplara dökülerek buhar basıncı ve sıcaklık altında otoklav ünitelerinde kürlenerek sert bloklar haline getirilmektedir (Gaziantep Ytong, 2020; Türk Gazbeton, 2024).

3. Veri ve Metodoloji

İnşaat sektöründe duvar dolgu malzemesi olarak kullanılan tuğla, briket ve gaz betonun sektörel gelişiminin belirlenmesi için bu çalışmada, TÜİK'in "Yıllık Sanayi Ürün (PRODCOM) İstatistikleri" veri tabanından yararlanılmıştır. Veri tabanında bulunan tuğla, briket ve gaz beton üretimine dair veriler, çalışmanın amacı çerçevesinde derlenerek kıyaslanmış ve sektörel büyüklük açısından değişimleri analiz edilmiştir.

PRODCOM istatistikleri, madencilik ve taş ocakçılığı ile imalat sanayinde üretilen ürünlerin ve birtakım sınaî hizmetlerin, Türkiye düzeyinde yıllık periyotta miktarını ve değerini grafikler aracılığıyla ortaya koymaktadır (TÜİK, 2022). Bu grafiklerde ürünler, PRODTR adı verilen sınıflandırma sistemi ile sınıflandırılmaktadır. PRODTR, Avrupa İstatistik Ofisi (Eurostat) tarafından geliştirilmiş olan ve Avrupa Birliği ülkelerinde mamul malların üretimi ile ilgili istatistikleri içeren PRODCOM sistemini esas almaktadır. PRODTR, PRODCOM'un Türkiye'ye uyarlanmış halidir. PRODCOM, Fransızca "PRODUCTION COMMUNAUTAIRE" ve İngilizce "Community Production" ifadelerinin kısaltmasıdır. "Toplum üretimi" anlamına gelmektedir. PRODCOM, Avrupa Birliği'nde Ekonomik Faaliyetlerin İstatistiki Sınıflaması anlamına gelen NACE'nin ekonomik faaliyet verilerini kapsamaktadır. Bu veriler, NACE'nin B, C ve E bölümlerine atıfta bulunan madencilik ve taş ocakçılığı, imalat ve malzeme geri kazanımı ile ilgilidir (Eurostat, 2023). NACE sınıflandırmasının tüm Avrupa Birliği'ne üye ülkelerde aynı şekilde kullanılması için mevzuat düzenlenmesi de mevcuttur. NACE kapsamındaki tüm ekonomik faaliyetler kodlar ile birlikte Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. NACE kodlarının genel yapısı (Eurostat, 2008)

Ekonomik Faaliyetler		Ekonomik Faaliyetler	
A	Tarım, ormancılık ve balıkçılık	L	Gayrimenkul faaliyetleri
B	Madencilik ve taş ocaklığı	M	Mesleki, bilimsel ve teknik faaliyetler
C	İmalat	N	İdari ve destek hizmet faaliyetleri
D	Elektrik, gaz, buhar ve iklimlendirme üretimi ve dağıtımı	O	Kamu yönetimi ve savunma; zorunlu sosyal güvenlik
E	Su temini; kanalizasyon, atık yönetimi ve iyileştirme faaliyetleri	P	Eğitim
F	İnşaat	Q	İnsan sağlığı ve sosyal hizmet faaliyetleri
G	Toptan ve perakende ticaret; motorlu kara taşıtlarının ve motosikletlerin onarımı	R	Kültür, sanat, eğlence, dinlence ve spor
H	Ulaştırma ve depolama	S	Diğer hizmet faaliyetleri
I	Konaklama ve yiyecek hizmeti faaliyetleri	T	Hane halklarının işveren olarak faaliyetleri; hane halklarının kendi kullanımları için ayrıştırılmamış gıda ve hizmet üretim faaliyetleri
J	Bilgi ve iletişim	U	Ülke dışı kurum ve kuruluşların faaliyetleri
K	Finans ve sigorta faaliyetleri		

NACE kodları kapsamında tuğla, briket ve gaz beton üretimi, Tablo 1’de “C” ile belirtilen imalat ekonomik faaliyetlerinin altında 10-33 kodları arasında sınıflandırılan kısımda yer almaktadır. 10-33 arasında yer alan sınıflar, Tablo 2’de verilmiştir. Tuğla, briket ve gaz beton mineral esaslı ürünlerdir, metalik özellikte değildirler. Bu sebeple, tuğla, briket ve gaz beton üretimi Tablo 2’de verilen sınıflardan 23 kodlu “diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı” kapsamına girmektedir. Tuğla üretiminde hammadde olarak kil; briket üretiminde kum, ponza taşı ve çimento; gaz beton üretiminde ise kuvarsit, kireçtaşı ve çimento kullanılmaktadır. Dolayısıyla metalik olmayan ve mineral bazlı olan bu üç duvar dolgu malzemesinin üretimi de 23 kodlu NACE sınıfı altında yer almaktadır.

Tablo 2. NACE C-İmalat başlığının sınıfları (Eurostat, 2008)

Kod	Ekonomik Faaliyet	Kod	Ekonomik Faaliyet
10	Gıda ürünlerinin imalatı	22	Kauçuk ve plastik ürünlerin imalatı
11	İçeceklerin imalatı	23	Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı
12	Tütün ürünleri imalatı	24	Ana metal sanayii
13	Tekstil ürünleri imalatı	25	Fabrikasyon metal ürünleri imalatı (Makine ve teçhizat hariç)
14	Giyim eşyalarının imalatı	26	Bilgisayarların, elektronik ve optik ürünlerin imalatı
15	Deri ve ilgili ürünlerin imalatı	27	Elektrikli teçhizat imalatı
16	Ağaç, ağaç ürünleri ve mantar ürünleri imalatı (mobilya hariç); saz, saman ve benzeri malzemelerden örülerek eşyaların imalatı	28	Başka yerde sınıflandırılmamış makine ve ekipman imalatı
17	Kâğıt ve kâğıt ürünlerinin imalatı	29	Motorlu kara taşıtı, treyler (römork) ve yarı treyler (yarı römork) imalatı
18	Kayıtlı medyanın basılması ve çoğaltılması	30	Diğer ulaşım araçlarının imalatı
19	Kok kömürü ve rafine edilmiş petrol ürünleri imalatı	31	Mobilya imalatı
20	Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı	32	Diğer imalatlar
21	Temel eczacılık ürünlerinin ve eczacılığa ilişkin malzemelerin imalatı	33	Makine ve ekipmanların kurulumu ve onarımı

Tablo 3’te, NACE C.23 diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı sınıfının alt sınıfları verilmiştir. Tabloya göre tuğla 3 numaralı sınıf olan “kilden inşaat malzemesi” sınıfına, briket ve gaz beton 6

numaralı sınıf olan “betondan, çimentodan ve alçıdan eşyalar” sınıfına girmektedir. Bu sınıfların bir alt sınıfları incelendiğinde tuğla için en uygun sınıfın “pişmiş kilden tuğla, kiremit ve inşaat ürünleri imalatı” olduğu, briket ve gaz beton için “inşaat amaçlı beton ürünlerin imalatı” sınıfı olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 3. NACE C.23 sınıfının alt sınıfları (Eurostat, 2008)

Alt Sınıf Kodları	C.23 Sınıfının Alt Sınıfları
23	<i>Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı</i>
23.1	Cam ve cam ürünleri
23.2	Ateşe dayanıklı ürünler
23.3	Kilden inşaat malzemesi
23.32	Pişmiş kilden tuğla, kiremit ve inşaat ürünleri imalatı
23.4	Diğer porselen ve seramik ürünler
23.5	Çimento, kireç ve alçı
23.6	Betondan, çimentodan ve alçıdan eşyalar
23.61	İnşaat amaçlı beton ürünlerin imalatı
23.7	Taş (kesilmiş, şekil verilmiş ve tamamlanmış)
23.9	Metalik olmayan diğer mineral ürünler

NACE C.23.32 pişmiş kilden tuğla, kiremit ve inşaat ürünleri imalatı ve NACE 23.61 inşaat amaçlı beton ürünlerin imalatı sınıflarında yer alan tuğla, briket ve gaz beton imalatı NACE kodlarını esas alan PRODCOM ve PRODCOM’dan uyarlanan PRODTR sınıflandırmalarında daha ayrıntılı olarak sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma Tablo 4’te verilmiştir.

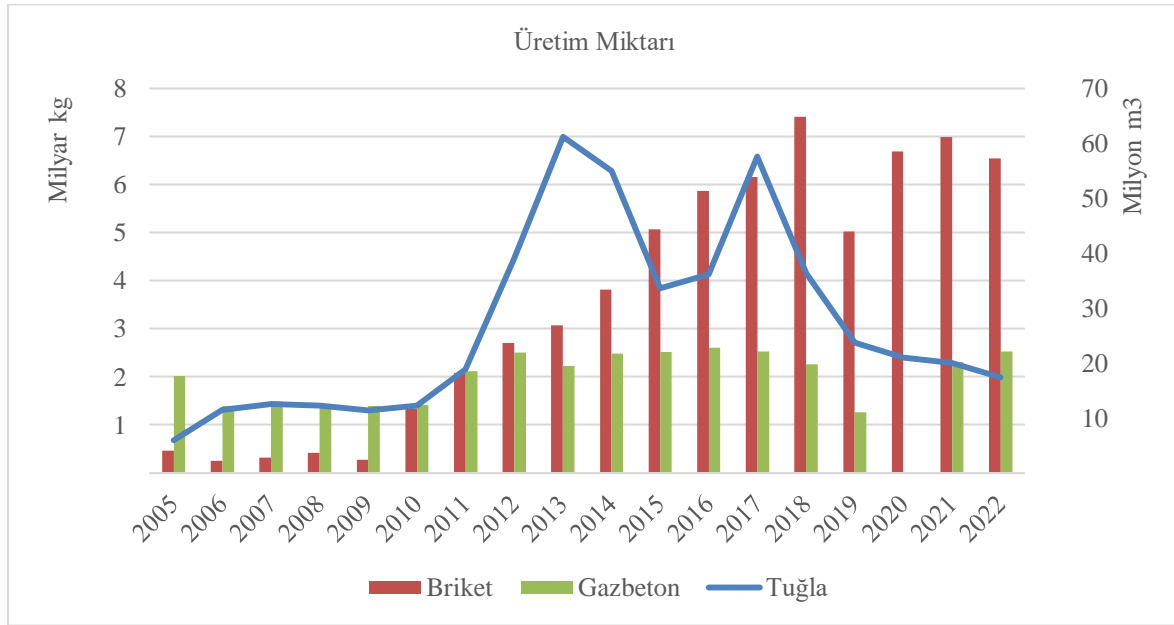
Tablo 4. PRODCOM ve PRODTR’ye göre tuğla, briket ve gaz beton imalatı sınıflandırması (TÜİK, 2024)

Duvar Dolgu Malzemesi	NACE Kodu	Birimi
Tuğla	İnşaat tuğlaları, ateşe dayanıklı (refrakter) olmayan kilden (silisli fosil unlarından veya silisli topraklardan olanlar hariç)	23.32.11.10.00 m ³
Briket	İnşaat blokları ve tuğlaları, çimentodan, betondan veya suni taştan	23.61.11.30.00 kg
Gaz beton	Gaz beton yapı elemanları (kireç taşından olanlar dahil) (kirişler, kolonlar, panolar, döşeme elemanları vb.)	23.61.12.00.04 kg

Tuğla ve gaz beton üretimi Tablo 4’te yer alan sınıflandırmalarda doğrudan ifade edilmiş olmasına rağmen, briket tam olarak tanımlanmamıştır. Ancak tanımda yer alan çimento, beton suni taştan imal edilen inşaat tuğlaları ve bloklarının Türkiye’deki karşılığı genellikle briket veya BİMS blok olarak ifade edilen yapı malzemesidir. PRODCOM ve PRODTR sınıflandırması briket için bire bir uygun olmasa da üretimin çoğunluğuna tekabül eden tanımları karşılayacağı varsayılmıştır. Bu varsayımlar altında tuğla, briket ve gaz beton üretimine ilişkin veriler karşılaştırmalı analiz yöntemi ile kıyaslanmıştır.

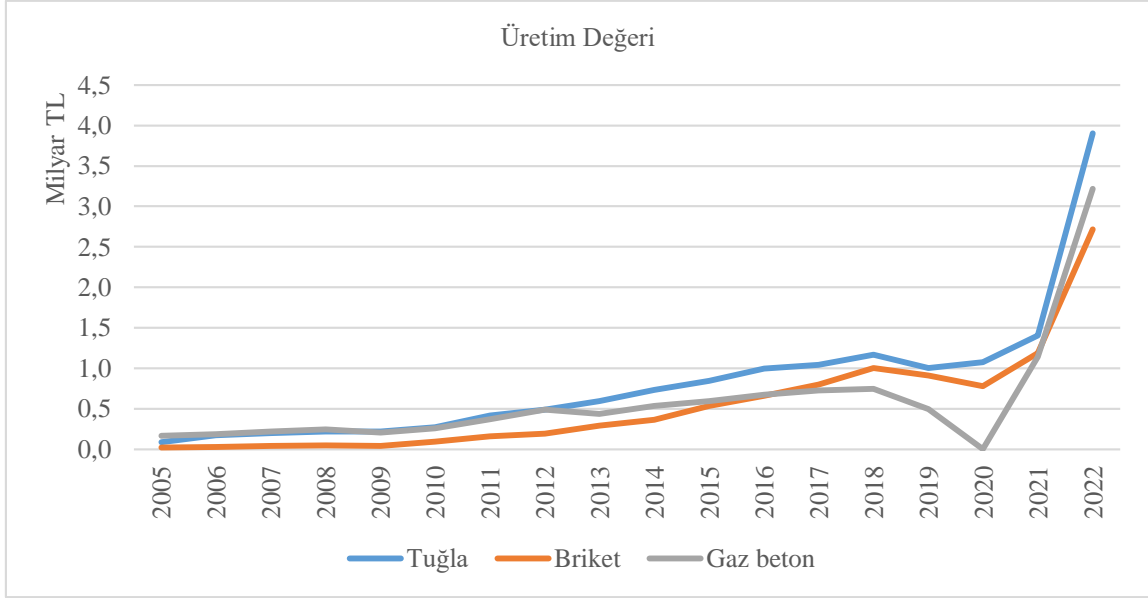
4. Bulgular ve Tartışma

Şekil 1’de yer alan grafikte, yıllara göre tuğla, briket ve gaz betonun üretim miktarları verilmiştir. Tuğla üretimi m³ cinsinden, briket ve gaz beton üretimi kg cinsinden verilmiştir. Grafiğe göre tuğla üretimi 2013 ve 2017 yıllarında tepe noktasına ulaşmıştır. 2022 yılında Türkiye’de yaklaşık 20 milyon m³ tuğla üretilmiştir. 2010 yılına kadar gaz beton kullanımı briketle göre oldukça fazla olmasına rağmen, 2012 yılında itibaren briket kullanımını gaz betonu geçmiştir, 2022 yılında briket üretimi gaz betonun yaklaşık 2,6 katı olmuştur. Briket kullanımındaki bu artışın malzemenin ekonomik olarak uygun olmasından kaynaklandığı tahmin edilmektedir.



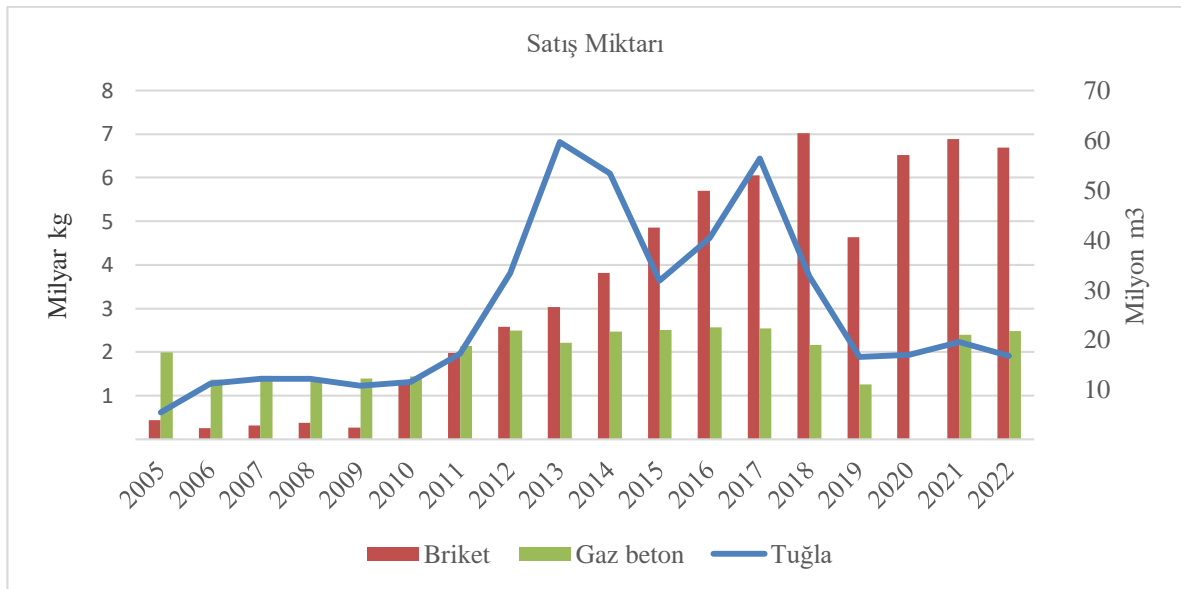
Şekil 1. Tuğla, briket ve gaz betonun üretim miktarları (Kaynak: TÜİK)

Şekil 2’de yer alan grafikte, tuğla, briket ve gaz beton üretimlerinin parasal değerleri TL cinsinden verilmiştir. Briket üretimi gaz betondan miktar olarak çok daha fazla olmasına rağmen, üretim değeri olarak gaz betonun altında kalmıştır. Bunun sebebinin gaz betonun daha pahalı bir malzeme olması olduğu tahmin edilmektedir. Tuğla ise alternatiflerine kıyasla sektörde en yüksek üretim değerine sahip malzemedir. Tuğla, gaz betondan daha düşük düşük üretim maliyetine sahip olmasına rağmen, daha yüksek üretim miktarına sahip olduğu için toplam üretim değeri gaz betonun üzerinde yer almaktadır. Üretim değerinin 2020 yılında itibaren hızlı artış göstermesinin sebebinin bu tarihten itibaren enflasyonda yaşanan hızlı artış olduğu düşünülmektedir.



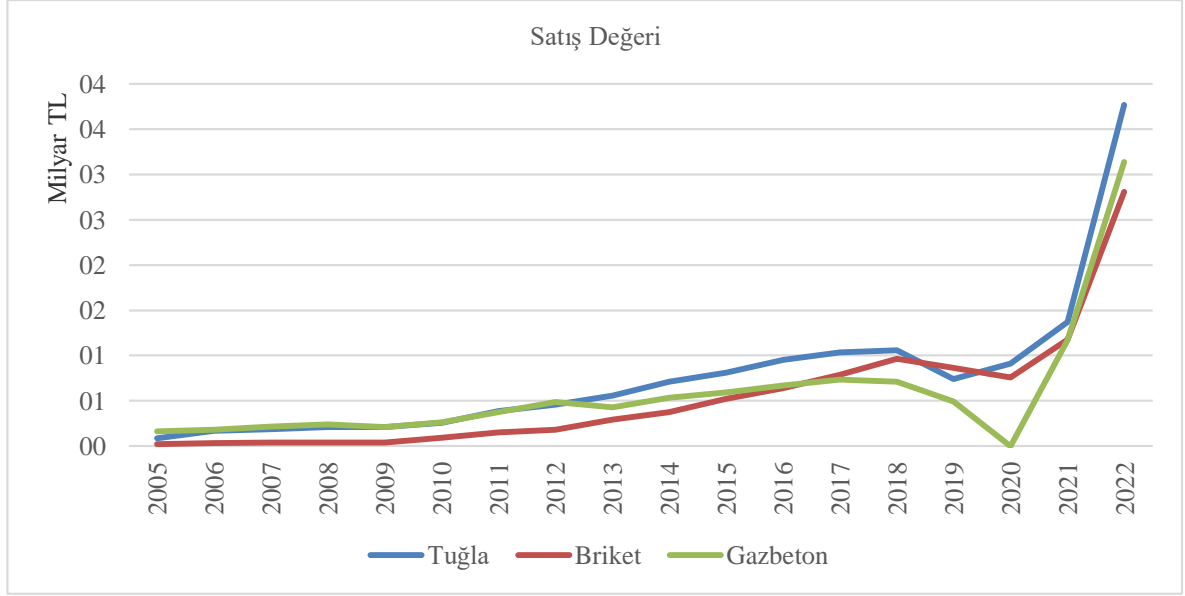
Şekil 2. Tuğla, briket ve gaz betonun üretim değerleri (Kaynak: TÜİK)

Şekil 3'te yer alan grafikte tuğla, briket ve gaz betonun satış miktarlarına yer verilmiştir. Buna göre 2022 yılında Türkiye'de yaklaşık 17 milyon m³ tuğla, 6,7 milyon ton briket, 2,5 milyon ton gaz beton satışı gerçekleşmiştir. Satış miktarları grafiği, Şekil 2'deki üretim değerleri ile paralellik göstermektedir. Bu durum, sektörde arz-talep dengesinin olduğuna işaret etmektedir. Tuğla satışlarının 2010 yılından 2013 yılına kadar hızla arttığı, daha sonra düşüşe geçerek 2017 yılında tekrar 2013 yılı seviyelerini yakaladığı, 2017-2019 yılları arasında keskin bir şekilde düşerek 2019 sonrası yatay bir seyir izlediği görülmektedir. Briket satışlarının ise 2018 yılına kadar hızlı bir artış gösterdiği, 2019 yılında muhtemelen pandeminin etkisi ile gerilediği, sonrasında tekrar 2018 yılı seviyesini yakaladığı görülmektedir.



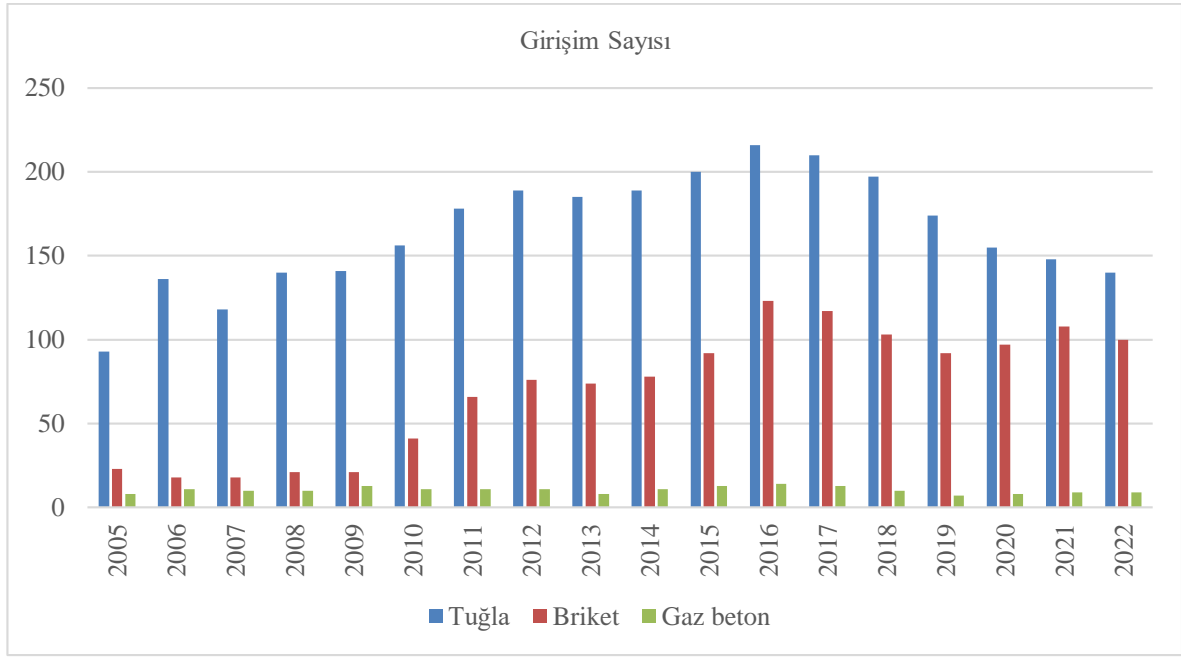
Şekil 3. Tuğla, briket ve gaz betonun satış miktarları (Kaynak: TÜİK)

Şekil 4'te yer alan grafikte tuğla, briket ve gaz betonun satış değerlerine TL cinsinden yer verilmiştir. Buna göre 2022 yılında en yüksek satış değerine sırasıyla tuğla, gaz beton ve briket sahip olmuştur. Satış değeri verilerininin Şekil 2'deki üretim değerleri ile paralellik gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu da üretilen ürünün piyasada hızlı bir şekilde alıcı bulunduğunu göstermektedir.



Şekil 4. Tuğla, briket ve gaz betonun satış değerleri (Kaynak: TÜİK)

Şekil 5'te yer alan grafikte, 2005 yılından itibaren sektöre giren yeni girişimcilerin sayısına yer verilmektedir. Gaz beton girişimcilerinin yıllara göre çok değişmediği görülmektedir. Briket girişimcileri genelde artış gösterme eğilimindedir. Tuğla girişimcileri ise 2016 yılına kadar artış göstermekte, sonrasında azalma eğilimine girmektedir.



Şekil 5. Tuğla, briket ve gaz beton üretimi ile ilgili yeni girişim sayısı (Kaynak: TÜİK)

Tuğla, briket ve gaz betonun üretim miktarı, üretim değeri, satış miktarı, satış değeri ve yeni girişim sayısı ile ilgili gelişmeler göz önünde bulundurulduğunda tuğlanın pazar hacminin küçülmekte olduğu, briketin ise pazar hacminin büyümekte olduğu gözlemlenmektedir. Gaz betonda ise daha stabil bir görünüm vardır. İnşaat sektörü açısından bakıldığında, duvar yapımında kullanılan bu üç farklı malzemenin pazar hacmindeki değişimin mühendis, mimar ve müteahhitlerin ekonomik ve teknik uygunluklar bakımından yapılan tercihlerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Çevresel uygunluk ise henüz inşaat sektöründe yaygın olarak dikkat edilen bir kriter olmaktan uzaktır.

Sanayi emisyonlarının ana küresel itici gücü, çimento, kimyasallar, çelik, alüminyum, ahşap, kâğıt, plastik, yağlayıcılar, gübreler ve benzeri gibi üretimde dolaylı olarak kullanılan ürünlere olan talepteki büyük artış olmuştur (IPCC, 2022). Bu talep, ekonomik büyüme, artan refah ve tüketimin yanı sıra kentsel nüfustaki hızlı artış ve buna bağlı altyapı gelişiminden kaynaklanmaktadır (Krausmann ve ark. 2018). Beton, çelik ve diğer inşaat malzemelerinin artan kullanımının özellikle bu itici güçlerle sıkı bir şekilde bağlantılı olduğuna dair kanıtlar bulunmaktadır (Pauliuk ve ark., 2013; Cao ve ark., 2017; Krausmann ve ark., 2017; Plank ve ark., 2018; Haberl ve ark., 2020).

Çimento ve beton ucuz olması, dayanıklılık özellikleri ve kolay erişilebilir olması nedeniyle yapı malzemelerinin içeriğinde çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Tüketim kararlarının alınmasında genellikle üretim emisyonlarına önem verilmemektedir. Çimento üretimi küresel sera gazı emisyonlarının önemli bir kısmından sorumludur. Tahminler, çimento endüstrisinin dünyadaki toplam karbondioksit emisyonlarının yaklaşık %8'inden sorumlu olduğunu göstermektedir (IEA, 2023). Bu durum büyük ölçüde, çimentonun ana bileşeni olan klinkerin üretilmesinde kullanılan ve önemli miktarda CO₂ açığa çıkaran kimyasal süreçlerden kaynaklanmaktadır.

Tuğla, briket ve gaz betonun çevresel etkilerini kıyaslayan çalışmalar incelendiğinde (Maia de Souza ve ark., 2016; Zastrow ve ark., 2017; Pons ve ark., 2018), bu duvar dolgu malzemeleri arasında çevresel etki farklılıklarının temel sebebinin malzeme içeriğinde bulunan çimentodan kaynaklandığı görülmektedir. Bunun yanı sıra, çevresel etkilerin azaltılmasındaki bir diğer önemli etkenin malzemelerin üretiminde geri dönüşümden elde edilen hammaddelerin kullanılması olduğu görülmektedir.

Çevresel etkilerin azaltılabilmesi için yapı tasarımında yapı malzemesi seçimi önem kazanmaktadır. Duvarlar, yapı bileşenlerinin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Bu nedenle yapı tasarımında çevresel açıdan avantajlı olan duvar dolgu malzemesinin seçilmesi yapının toplam gömülü karbon değerinin azaltılması ve yapının inşasından kaynaklı sera gazı emisyonlarının önüne geçilmesi bakımından dikkate alınması gereken önemli bir husustur.

Yapılan literatür incelemesinde içeriğinde çimento barındırmaması nedeniyle tuğlanın briket ve gaz betona nazaran çevresel etkilerinin ve gömülü karbon değerinin daha düşük olduğu anlaşılmaktadır. Ancak bu üç yapı malzemesinin üretim ve satış istatistikleri incelendiğinde son yıllarda briket ve gaz betona olan talebin arttığı görülmektedir. Dolayısıyla yapı tasarımından sorumlu olan mühendis ve mimarların yapı malzemesi seçiminde çevresel etkileri yeterince önemsemediği söylenebilir. Ancak günümüzde bu çevresel etkiler giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Bu nedenle son yıllarda inşaat piyasasındaki pazar hacmi küçülen tuğla sektörünün önümüzdeki yıllarda kaybettiği pazar hacmini geri kazanacağı tahmin edilmektedir. Bundaki en önemli faktörün ise tuğlanın briket ve gaz betona göre daha çevre dostu bir malzeme olmasından kaynaklanması beklenmektedir. Bu minvalde tuğla üretiminde yeni teknolojilerin kullanılması ile sürdürülebilir üretim teknikleri geliştirilmesi ve üretim kaynaklı emisyonların azaltılması kritik öneme sahiptir.

5. Sonuç ve Öneriler

TÜİK tarafından yayımlanan Yıllık Sanayi Ürün İstatistikleri veri tabanından yararlanarak tuğla, briket ve gaz betona ait veriler derlenerek yapılan analiz sonucunda, bu malzemelerin imalat sanayi içindeki üretim ve satış miktarları ile değerleri belirlenmiş ve inşaat sektöründeki pazar hacimleri karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmada aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Tuğla üretimi ve satış miktarında dalgalanmalar fazladır. 2017 yılından itibaren tuğla üretiminde keskin bir düşüş yaşanmıştır. Buna rağmen üretim ve satış değerlerine bakıldığında tuğla hala sektörün öncüsü konumundadır. Tuğla sektörüne giren yeni girişimci sayısında 2016 yılından itibaren azalma görülmesine karşın, hala briket ve gaz betona göre daha fazla girişimcinin dikkatini çekmektedir.
- Briket, tuğla ve gaz betona kıyasla üretim ve satış miktarı en fazla artış gösteren malzemedir. 2005 yılından itibaren neredeyse sürekli artış trendindedir. Briket, ucuz bir malzemedir. Bu sebeple, üretim ve satış değerleri tuğla ve gaz betonun altında kalmaktadır. Yeni girişimciler, briket üretimine oldukça isteklidir.

- Gaz betonun üretim miktarı, tuğla ve briketeye göre düşüktür. Üretiminde yıllar içinde diğerleri kadar dalgalanmalar yaşanmamıştır. Gaz beton, pahalı bir malzemedir. Bu sebeple, sektördeki üretim ve satış miktarı azdır. Üretim ve satış değeri tuğladan düşük, briketten fazladır. Yeni girişimciler, gaz beton üretimine katılmayı çok tercih etmemektedir.

Sonuç olarak duvar dolgu malzemesi olarak kullanılan üç farklı alternatif malzemenin üretim ve satış miktarları ve değerleri incelendiğinde, sektörde tuğladan briketeye doğru bir tercih kayması yaşandığı ortaya çıkmaktadır. Bu durumun, briketin ekonomik olarak daha cazip bir malzeme olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ancak çevresel perspektiften değerlendirildiğinde, briketin tuğlanın yerini almasının inşaat sektöründen kaynaklı sera gazı emisyonlarında artışa sebep olacağı öngörülmektedir. Bunun sebebi, briketin üretiminde çimento kullanılmasından kaynaklı olarak gömülü karbon değerinin daha yüksek olmasıdır. Tuğlanın kaybettiği pazar payını yeniden kazanabilmesi için alternatiflerine göre daha çevre dostu bir malzeme olduğu konusunda inşaat sektöründe farkındalığın artırılması elzemdir. Bu bağlamda, Yaşam Döngüsü Değerlendirme metodolojisinden yararlanarak tuğlanın çevresel etkilerinin alternatif diğer yapı malzemelerine göre daha az olduğunun nicel ve somut olarak ortaya koyulması gerekmektedir. İnşaat sektöründe malzeme seçiminde karar verici konumda olan mühendis, mimar ve müteahhitlerin tercihleri sektördeki üretim ve satış miktarlarını belirlemektedir. Yapı malzemelerinin seçiminde çevresel etkilerin göz önünde bulundurulması, Türkiye'nin 2053 Net Sıfır Hedefinin gerçekleştirilmesinde ve çevresel etkilerin azaltılması bağlamında uluslararası yükümlüklerinin yerine getirilmesinde önemli bir yere sahiptir. Gelecek çalışmalarda Yaşam Döngüsü Değerlendirme metodolojisi kullanılarak objektif olarak ortaya konmuş çevresel etkilerin yanı sıra tuğla, briket ve gaz betonun teknik özelliklerinin ve deprem sırasındaki davranışlarının karşılaştırmasının da bu yapı malzemelerinin mimar ve mühendisler tarafından seçiminde kolaylık sağlayacak etkili bir çalışma olacağı değerlendirilmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) Bilim İnsanı Destekleme Programları (BİDEB) 2211-A kapsamında desteklenmiştir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Kaynakça

- Almeida MI., Dias AC., Arroja L., Dias A. Life cycle assessment (cradle to gate) of a Portuguese brick. Portugal SB10-Sustainable Building Affordable to All Conference, 17-19 Mart 2010, sayfa no: 17-19, Vilamoura, Portekiz.
- BlokBims. Briket Değil BlokBims 2024. URL: <https://www.blokbims.com.tr/bilgi-merkezi/briket-degil-blokbims/>, Son Erişim Tarihi: 21.02.2024.
- Cao Z., Shen L., Løvik AN., Müller DB., Liu G. Elaborating the history of our cementing societies: An in-use stock perspective. *Environmental Science and Technology* 2017; 51(19): 11468–11475.
- Envirocon. Environmental Product Declaration 2022. URL: <https://api.environdec.com/api/v1/EPDLibrary/Files/a98820b4-001c-4317-ef0b-08db61df2909/Data>, Son Erişim Tarihi: 21.02.2024.
- Eurostat. NACE Rev. 2 Statistical classification of economic activities in the European Community 2008. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3859598/5902521/KS-RA-07-015-EN.PDF>, Son Erişim Tarihi: 14.01.2024.
- Eurostat. Overview-Prodcom-Statistics by product 2023. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/prodcom>, Son Erişim Tarihi: 14.12.2023.
- Eurostat. Statistical Classification of Economic Activities in the European Community Rev. 2.1. (NACE_2.1) 2024. URL: https://showvoc.op.europa.eu/#/datasets/ESTAT_Statistical_Classification_of_Economic_Activities_in_the_European_Community_Rev._2.1._%28NACE_2.1%29/data, Son Erişim Tarihi: 22.02.2024.
- Gaziantep Ytong. Çevresel Ürün Beyanı 2020. URL: <https://api.environdec.com/api/v1/EPDLibrary/Files/a2cbb8da-59d6-4c93-a11d-8a6783c6f648/Data>, Son Erişim Tarihi: 05.02.2024.
- Globmac. Briket nedir? 2024 URL: <https://www.globmac.com/briket-nedir/>, Son Erişim Tarihi: 21.02.2024.
- Haberl H., Wiedenhofer D., Virág D., Kalt G., Plank B., Brockway P., Fishman T., Hausknost D., Krausmann F., Leon-Gruchalski B., Mayer A., Pichler M., Schaffartzik A., Sousa T., Streeck J., Creutzig F. A systematic review of the evidence on decoupling of GDP, resource use and GHG emissions, part II: synthesizing the insights. *Environmental Research Letters* 2020. 15(6): 1-42.
- IEA. Tracking clean energy progress 2023, Paris: IEA; 2023. <https://www.iea.org/reports/tracking-clean-energy-progress-2023>
- IPCC. Climate change 2022: Mitigation of climate change. 1st ed. UK: Cambridge University Press; 2023. Cambridge, UK ve New York, NY, USA; 2022.
- ISO 14040:2006. Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework 2006.

- ISO 14044:2006. Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines 2006.
- ISO 14025:2008. Environmental labels and declarations - Type III environmental declarations - Principles and procedures 2008.
- Kingscourt Brick. Environmental Product Declaration 2021. URL: <https://www.igbc.ie/wp-content/uploads/2021/07/EPD-Kingscourt-Brick-12-07-2021-EPDIE-21-51.pdf>, Son Erişim Tarihi: 05.02.2024.
- Krausmann F., Wiedenhofer D., Lauk C., Haas W., Tanikawa H., Fishman T., Miatto A., Schandl H., Haberl H. Global socioeconomic material stocks rise 23-fold over the 20th century and require half of annual resource use. *Proceedings of National Academy of Sciences* 2017; 114(8): 1880–1885.
- Krausmann F., Lauk C., Haas W., Wiedenhofer D. From resource extraction to outflows of wastes and emissions: The socioeconomic metabolism of the global economy, 1900–2015. *Global Environmental Change* 2018; 52: 131–140.
- Maia de Souza D., Lafontaine M., Charron-Doucet F., Chappert B., Kicak K., Duarte F., Lima, L. Comparative life cycle assessment of ceramic brick, concrete brick and cast-in-place reinforced concrete exterior walls. *Journal of Cleaner Production* 2016; 137: 70-82.
- Neser L. Introduction to earth science. Blacksburg: Virginia Tech Department of Geosciences; 2023.
- Özdemir Toprak Sanayi. Tuğla Üretimi ve Tuğla Üretim Aşamaları 2024. URL: <http://ozdemirtoprak.com/blog/tugla-uretimi-ve-tugla-uretim-asamalari/>, Son Erişim Tarihi: 26.02.2024.
- Pauliuk S., Wang T., Müller DB. Steel all over the world: Estimating in-use stocks of iron for 200 countries. *Resources, Conservation and Recycling* 2013; 71: 22–30.
- Plank B., Eisenmenger N., Schaffartzik A., Wiedenhofer D. International trade drives global resource use: A structural decomposition analysis of raw material consumption from 1990–2010. *Environmental Science and Technology* 2018; 52(7): 4190–4198.
- Pons JJ., Penadés-Plà V., Yepes V., Martí JV. Life cycle assessment of earth-retaining walls: An environmental comparison. *Journal of Cleaner Production* 2018; 192: 411-420.
- Prefabricados Etxeberria. Environmental Product Declaration 2021. URL: <https://api.environdec.com/api/v1/EPDLibrary/Files/35a31a75-7f34-47ff-8fe1-08d8bd2d7e04/Data>, Son Erişim Tarihi: 21.02.2024.
- Roadstone. Environmental Product Declaration 2022. URL: <https://api.environdec.com/api/v1/EPDLibrary/Files/a0e82a6d-4826-4069-a6f4-08da599e304a/Data>, Son Erişim Tarihi: 21.02.2024.
- Saray Tuğla. Environmental Product Declaration 2022. URL: <https://api.environdec.com/api/v1/EPDLibrary/Files/b58415f9-dfdd-4e00-9041-08dabb52e166/Data>, Son Erişim Tarihi: 05.02.2024.

- Shaw Brick. Environmental Product Declaration 2022. URL: https://pcr-epd.s3.us-east-2.amazonaws.com/836.Shaw_Brick_Clay_Brick_EPD.pdf, Son Erişim Tarihi: 05.02.2024.
- The Brick Development Association. Environmental Product Declaration 2019. URL: <https://www.brick.org.uk/uploads/downloads/breg-en-epd-000002-v4.pdf>, Son Erişim Tarihi: 05.02.2024.
- The Brick Industry Association. Environmental Product Declaration 2020. URL: <https://bowerstonshale.com/wp-content/uploads/2022/04/EPD.pdf>, Son Erişim Tarihi: 05.02.2024.
- The United Basalt Products Limited. Environmental Product Declaration 2020. URL: <https://api.environdec.com/api/v1/EPDLibrary/Files/b2e43311-f1ae-43d7-0317-08d8f01e26c9/Data>, Son Erişim Tarihi: 21.02.2024.
- TÜİK. Haber Bülteni: Yıllık Sanayi Ürün (PRODCOM) İstatistikleri, 2022.
- TÜİK. Yıllık Sanayi Ürün (PRODCOM) İstatistikleri 2023. URL: <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=Sanayi-114>, Son Erişim Tarihi: 14.12.2023.
- Türk Gazbeton. Environmental Product Declaration 2024. URL: <https://api.environdec.com/api/v1/EPDLibrary/Files/a2223532-3ccb-4921-1b99-08dc2330a814/Data>, Son Erişim Tarihi: 21.02.2024.
- UNFCCC. National Statement of the Republic of Türkiye 2024. URL: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/TURKIYE_cop28cmp18cma5_HLS_ENG.pdf, Son Erişim Tarihi: 22.02.2024.
- Zastrow P., Molina-Moreno F., García-Segura T., Martí JV., Yepes V. Life cycle assessment of cost-optimized buttress earth-retaining walls: A parametric study. *Journal of Cleaner Production* 2017; 140: 1037-1048.