



Yapı Malzemelerine Sürdürülebilir Mimarlık Bağlamında Bütüncül Bir Bakış: Duvar Malzemelerinin Çevresel Etkilerinin ve Enerji Performansının Belirlenmesi

Feride Çiğdem Kara¹, Merve Tuna Kayılı^{2*}

¹ Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Karabük, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-2876-7700), fcigdemkara@gmail.com

^{2*} Karabük Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Karabük, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-3803-8229), mervetunakayili@karabuk.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 27 Ekim 2021 ve Kabul Tarihi 16 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1015367)

ATIF/REFERENCE: Kara, F. Ç. & Tuna Kayılı, M. (2021). Yapı Malzemelerine Sürdürülebilir Mimarlık Bağlamında Bütüncül Bir Bakış: Duvar Malzemelerinin Çevresel Etkilerinin ve Enerji Performansının Belirlenmesi, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 583-593.

Öz

Yapı sektörü malzeme ve enerji kaynaklarının büyük bir kısmını tüketirken, sektörün çevreye etkileri de tüketimle aynı oranda gerçekleşmektedir. Bu bağlamda, yapı malzemelerinin sürdürülebilirlik bağlamında ele alınması durumunda, hem enerji performansı hem de çevreye etkilerini ele alan bütüncül bir bakış açısıyla irdelenmesi, yapının tasarım evresinde gerçekleşen malzeme seçiminin daha doğru ve rasyonel olması için önemlidir. Çalışma kapsamında duvar konstrüksiyonlarında kullanılan tuğla, gazbeton ve bims bloğun çevresel etkileri ve yapının kullanım evresindeki enerji performansına ve kabuğun ısı kütle özelliğine etkileri Safranbolu'da inşa edilmiş bir toplu konut projesi üzerinden irdelenmiş ve duvar malzemeleri sürdürülebilir mimarlık bağlamında bütüncül bir bakış açısıyla ele alınmıştır. Çalışma sonucunda, tuğlanın gazbeton ve bims bloğa göre üretim sürecindeki yüksek ısı enerjisi gereksinimi nedeniyle çevresel etkileri daha fazla olmasına karşın yapının enerji performansını ve kabuğun ısı depolama kapasitesini artırdığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tuğla, Gazbeton, Bims blok, Çevresel etki, Enerji performansı, Isıl kütle

A Holistic View on Building Materials in the Context of Sustainable Architecture: Determining the Environmental Impact and Energy Performance of Wall Materials

Abstract

While the construction sector consumes a large part of material and energy resources, its effects on the environment occur at the same rate as consumption. In this context, if building materials are handled in the context of sustainability, it is important to examine both energy performance and environmental effects from a holistic perspective, so that the material selection realized during the design phase of the building is more accurate and rational. Within the scope of the study, the environmental effects of brick, aerated concrete and pumice block used in wall constructions and their effects on the energy performance of the building and the thermal mass of the shell were examined through a mass housing project built in Safranbolu and the wall materials were discussed from a holistic perspective in the context of sustainable architecture. As a result of the study, it has been determined that although the brick has more environmental effects due to the high heat energy requirement in the production process compared to aerated concrete and pumice blocks, it increases the energy performance of the building and the heat storage capacity of the shell.

Keywords: Brick, Aerated concrete, Pumice block, Environmental Impact, Energy performance, Thermal Mass

* Sorumlu Yazar: mervetunakayili@karabuk.edu.tr

1. Giriş

Yapılar, malzeme kaynaklarının %30'unu, enerji kaynaklarının %40'ını tüketmekte ve CO₂ salımının da %36'sından sorumlu tutulmaktadır (European Commission Energy Department, 2020). Bu bağlamda yapı ve yapı malzemeleri sürdürülebilirlik bağlamında ele alındığında, hem enerji tüketimi hem de çevresel etkileri içeren bütüncül bir bakış açısıyla irdelenmelidir. Binaların yapım sürecinde, malzeme çıkarım aşamasından başlanarak yapım, kullanım ve kullanım sonrası evreye kadar enerji tüketilmekle birlikte çevreye çeşitli açılardan zarar verilmektedir. Enerji analizlerinin ya da çevresel etkilerin tek başına ele alınması, tüm aşamalardaki tüketimleri ifade etmekte yetersiz kalmaktadır. Bu bağlamda, çevreye daha az zararlı kabul edilen bir malzemenin enerji performansının da göz önünde bulundurulması ile daha sürdürülebilir bir yaklaşıma kapı açmaktadır.

Yapıların çevresel etkilerinin değerlendirilmesi için kullanılan yaşam döngüsü değerlendirme (YDD) yöntemi, yapının tüm evrelerini detaylı olarak ele alan sistematik bir yöntemdir (Alkaya vd., 2012). Bu yöntem, yapı malzemelerinin hammadde çıkarım aşamasından başlayarak üretim, taşıma, kullanım süreci, ardından kullanım sonrası bertaraf edilme yöntemine kadar incelemektedir. Hava, su ve toprak kirlenmesini göz önüne alarak küresel ısınma, kaynakların tükenmesi, ozon tabakasının tahribi, ötrofikasyon, asidifikasyon ve zehirli salımlar gibi çeşitli çevresel etki kategorilerinde değerlendirme yapmaktadır (Özdemir, 2019). Yaşam döngüsü değerlendirme yöntemiyle bir konutun ele alınması, yapıyı oluşturan parçalarda üretim teknolojilerinin yanlış seçimi, doğal kaynakların bilinçsiz kullanımı, üretim ve yapının çevrede atık yığınları oluşturması gibi meydana gelen çevresel etkilerini yapının her aşamasında ortaya koymaktadır (Tuna Taygun, 2005). Bu yöntemin kullanılması ile yapı malzemelerinin çevreye verdikleri zararın azaltılması ve çevresel etkisi daha az olan malzemelerin tercih edilmesi sağlanabilmektedir (Karaman Öztaş ve Tanaçan, 2015).

YDD yöntemi ile kalıplaşmış anlayışların yanlış olduğuna yönelik çarpıcı sonuçlar elde edilebilmektedir. Betonarme sistem ve ahşap iskelet sisteminin gömülü karbon değeri bakımından kıyaslandığı bir çalışmada, betonarme sistemin üretim evresinde daha yüksek gömülü karbon değeri tespit edilirken, yaşam boyu değerlendirme sonucunda gömülü karbonu %34 değerinde azalttığı belirtilmektedir (Monahan ve Powell, 2011). Yine yün halı ile naylon halının çevresel etkilerinin karşılaştırıldığı bir çalışmada, yün halının üretim sürecinde kullanılan yüksek ağartıcılar nedeniyle naylon halıya göre daha fazla çevresel etkiye sahip olduğu tespit edilmektedir (Tuna Kayılı ve Çelebi, 2015). Ayrıca kullanım evresinde ise iç mekân hava kalitesinin artırılmasına yönelik, iç mekân kirleticilerini absorblama özelliği nedeniyle yün halının tercih edilmesi gerektiği belirtilmektedir (Katsoyiannis vd., 2006).

Yapının enerji performansı da çevresel etkilerle birlikte göz önünde bulundurulması gereken bir konudur. Atmosfere salınan sera gazının %50'sinden binalarda kullanılan enerji tüketimi sorumlu tutulmaktadır (UNFCCC, 2020). Duvar/pencere oranı, yonlenme, camlı yüzeylerin güneşten yararlanma oranı gibi parametrelerin yanı sıra yapılarda kabuk bileşenlerinin ısı iletkenlik değerlerinin azaltılması ile yapının ısıtma ve soğutma yükünün azaltılması mümkündür (URL 1). Yalıtımsız farklı duvar konstrüksiyonları, benzer enerji performans sonuçları vermekle birlikte, dolu tuğla, hafif tuğla, gazbeton içeren farklı duvar

kesitlerine yalıtım eklenerek ısı kayıplarının azaltılmasıyla enerji performansının iyileştirilebildiği bilinmektedir (Sezer ve Dilmaç, 2014).

Yapılarda seçilen malzemelerin ısı depolama özellikleri de yapının ısıl kütle kullanımı açısından önemlidir. Taş, tuğla ve beton gibi ağır konstrüksiyon malzemeleri yüksek ısı depolama kapasiteleri nedeniyle yapıda uygulandıklarında, ısıl kütleden kaynaklanan faz erteleme ve genlik küçültme özelliği sayesinde yapının ısıl konforunun devam ettirilmesinde ve enerji performansının artırılmasında önemli bir katkı sağlamaktadır (Konuklu ve Paksoy, 2011). Bu anlamda malzemelerin ısıl ve çevresel anlamda bütüncül olarak ele alınması, yapının kullanım evresindeki enerji kullanımının ve çevresel etkilerinin azaltılması açısından çok önemlidir. Yapının çevresel etkilerinin belirlenmesinde, kullanım evresindeki enerji performansını etkileyen tasarım kararlarının rolü büyüktür. Bu bağlamda tasarım evresinde malzeme seçimi yapılırken, çevresel etkileri ile birlikte kullanım evresindeki enerji performansına etkisi de göz önünde bulundurulmalıdır.

Yapılarda çevresel etki ve enerji performansının bütüncül bir bakışla ele alındığı çalışmalar mevcuttur. Yeşil cephe ve yeşil duvar sistemlerinin yapının çevresel ve enerji performansına etkisinin araştırıldığı çalışma (Châfer vd., 2021), kenaf bitkisinin sürdürülebilir bir yalıtım malzemesi alternatifi olarak ve bu malzemenin enerji performansı ve çevresel etkilerinin sunulduğu çalışma (Ardente vd., 2008), sürdürülebilir bir yapı inşası için 6 farklı pasif tasarım senaryosunun enerji kullanımı ve çevresel etki bağlamında değerlendirildiği çalışma (Tushar vd., 2021) bu anlamda öne çıkan çalışmalar olarak sayılabilmektedir. Pasif evlerin çevresel etkilerinin kanıtlanmış olduğu kabul edilip kullanıcı etkilerinin enerji performansına katkılarını ele alan çalışma (Peuportier vd., 2013) olduğu gibi, enerji performansı ve çevresel etkiyi içeren bu bütüncül bakış açısının sürdürülebilir bina tasarımı için bir karar verme aracı olarak görülebileceğini belirten (Chau vd., 2015) çalışmalar da bulunmaktadır. Yapıda enerji performansı ve çevresel etkilerin değerlendirilmesinin yanı sıra, yapının kent içerisindeki sosyolojik konumunu da ele alarak mevcut yapıların ve gelecekte tasarlanacak yapıların iyileştirilmesi için bina performansının disiplinlerarası daha geniş bir ölçekte ele alındığı çalışma (Pannier vd., 2021) da bulunmaktadır.

Türkiye'de yapılarda çevresel etki ve enerji performansı değerlendirme çalışmaları incelendiğinde, bu iki etkinin bir arada ele alınmasından ziyade bir konuya odaklanan çalışmalara rastlanmaktadır (Yıldız vd., 2008; Özutku ve Karakuş; Yıldız, vd., 2011). YDD üzerine yapılan çalışmalar Türkiye'de genellikle literatür taraması olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunun en önemli sebebi ise Türkiye'de yaşam döngüsü değerlendirme çalışmaları için veri eksikliğinden kaynaklanmaktadır (Benli Yıldız vd., 2020). Yaşam döngüsü veri araçlarından daha gerçekçi sonuçlar elde edilebilmesi için yapı malzemelerinin üretim sektörüne daha yakın veriler içermesi gerekmektedir (Rajagopalan vd., 2010).

Yaşam döngüsü değerlendirme yönteminin malzeme ölçeğinde ele alındığı çalışmalar incelendiğinde, yalıtım malzemesi üzerinde oldukça durulduğu görülmektedir (Llantoy vd., 2020; Ata-Ali vd., 2021; Dylewski ve Adamezyk, 2013). Son zamanlarda sürdürülebilirlik kavramının önem kazanmasıyla, yaşam döngüsü değerlendirme çalışmaları artış göstermiştir (Colangelo vd., 2021; Ding, 2013; Bianco vd., 2021; Hossain vd., 2017; Manjunatha vd., 2021). Bunun yanı sıra cephe kaplama malzemeleri (Hesser, 2015; La Rosa vd., 2021; Yılmaz vd., 2019);

yol kaplama malzemeleri (Thiel vd., 2013; Bai vd., 2021; Jullien vd., 2019), cam (Salazar, 2013), stabilize killi malzemeler (Marcelino-Sadaba vd., 2017), çelik ve ahşap strüktür üzerine (Morris vd., 2021; Wu vd., 2020) birçok çalışma yapılmıştır.

Duvar malzemeleri üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde, iç mekân bölücü duvarları üzerine yapılan bir çalışmada duvar malzemeleri olan tuğla, bims ve alçıpan ile oluşturulan duvarların A1-A5 evrelerinde çevresel etkileri karşılaştırılarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlarda alçıpanın çelik saplama malzemeleri nedeniyle en yüksek çevresel etkiye sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca bimste kullanılan çimentonun, tuğlada kullanılan pişirme işleminin çevresel etkileri arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır (Valencia-Barba vd., 2019). İç mekân bölücü duvarları üzerine yapılan bir çalışmada 44 ayrı duvarın A1-A5 evrelerindeki duvar katmanlarının çevresel etkileri incelenmiştir. Oluşturulan alternatiflerde akustik yalıtım, ısı yalıtımı, yangına dayanıklılık ve mekanik dayanım gibi parametreler göz önünde bulundurulmuştur. Elde edilen sonuçlarda duvar yapım malzemesinin %48 ile en büyük etki değerine sahip olduğu oranı tespit edilmiştir (Valencia-Barba vd., 2021). Çalışmalardan elde edilen sonuçlar duvar yapım malzemesinin tasarım aşamasında doğru seçiminin yapının çevresel etkisinin azaltılmasındaki önemini ortaya çıkmaktadır.

Bu bağlamda yapılan çalışmada, duvar malzemelerinin çevresel etkilerinin belirlenmesi ve seçilen malzemelerin yapının kullanım evresindeki enerji performansına etkisinin tespit edilmesi hedeflenmiştir. Malzemelerin çevre ve enerji performansına etkilerinin belirlenmesi, Safranbolu TOKİ konutları üzerinden gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın özgün değeri tuğla, gazbeton ve bims malzemelerinin çevresel ve enerji performanslarını bütüncül olarak ele almasıdır. Elde edilen sonuçların mimarlara, malzeme üreticilerine ve karar vericilere yapının tasarım evresinde malzeme seçimi bağlamında yol gösterici olması beklenmektedir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Duvar Malzemeleri

Çalışma kapsamında duvar dolgu malzemeleri olan tuğla, gazbeton ve bims bloğun çevresel ve yapının enerji performansına etkileri konut birimi üzerinden belirlenmiştir. Duvar konstrüksiyonlarının oluşturulmasında seçilen duvar malzemelerinin özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Seçilen duvar malzemelerinin özellikleri

Malzemeler	Isıl İletkenlik Hesap Değeri W/(m.K)	Yoğunluk (kg/m ³)
Bims	0.23	1070
Tuğla	0.54	1550
Gazbeton	0.21	580

Çalışmada seçilen malzemelerin aynı koşullarda çevresel etkilerinin belirlenmesine yönelik ihtiyaç duyulan duvar katmanı için Safranbolu Kirkille TOKİ konutları seçilmiştir. Aynı ısı iletim katsayısına sahip duvar konstrüksiyonunda yer alan tuğla, gazbeton ve bims bloğun çevresel etki değerleri karşılaştırılmıştır.

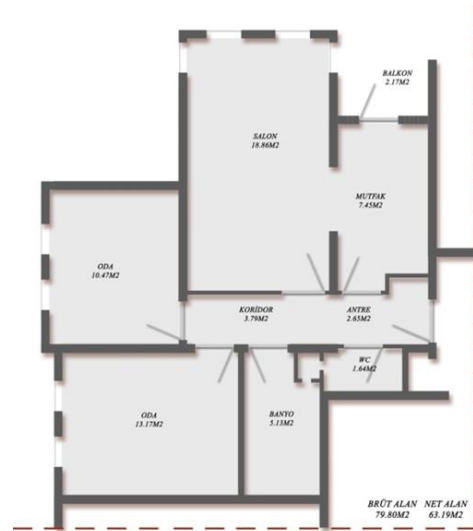
2.2. TOKİ Konutları

Duvar malzemelerinin çevresel ve enerji performansına etkilerinin belirlenebilmesi için Safranbolu Kirkille TOKİ konutları seçilmiştir. Çalışmada toplu konut yapısının seçilme nedeni, toplu konutların yüksek inşa edilme oranları ve geleceğe dönük yapı iyileştirmelerinde ön sırada (Ingrao vd., 2018) yer almalarıdır.

Karabük’ün Safranbolu ilçesinde yer alan Kirkille TOKİ konutlarının yapımı 2019 yılında tamamlanmıştır. Yöresel mimariye uyumlu olma amacı taşıyan bu yapılar (Şekil 1), 2+1 ve 3+1 olarak inşa edilmiştir. 579 konuttan 417’si 2+1, 162’si 3+1 olması sebebiyle, bu çalışmada 2+1 daire ele alınmıştır. Ele alınan daire 79.80m² brüt alana sahip olup, şematik kat planı Şekil 2’de verilmiştir.

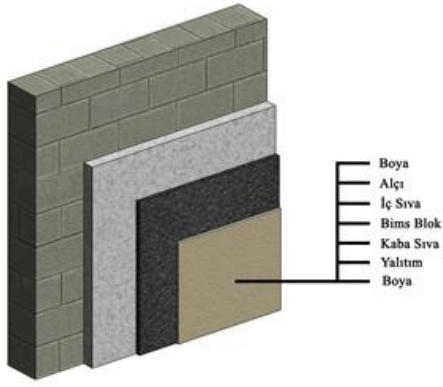


Şekil 1. Safranbolu Kirkille TOKİ toplu konutları (URL 2)

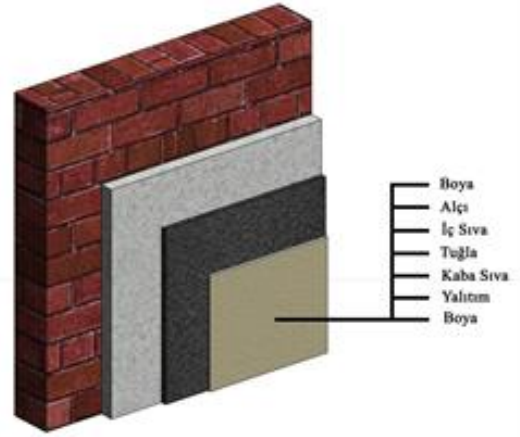


Şekil 2. Kısmi plan şeması

Konutların inşa aşamasında duvar malzemesi olarak bims blok kullanılmıştır. Çalışmada yapının mevcut duvar konstrüksiyonuna alternatif olarak gazbeton ve tuğla ile oluşturulan konstrüksiyonlar önerilmiş ve karşılaştırma yapılmıştır. Yapının duvar katmanlarını gösteren grafik Şekil 3’te verilmiştir.



Şekil 3. Mevcut duvar katmanları (Bims blok)



Şekil 4. Tuğla ile oluşturulan duvar katmanları

2.3. Duvar Malzemelerinin Kalınlığına Karar Verilmesi

Seçili duvar malzemelerinin çevresel performansının belirlenmesinde kalınlığın rolü büyüktür. Bu bağlamda performans hesaplamalarında aynı ısı iletkenlik değerine sahip duvar katmanlarının değerlendirilmesine karar verilmiş, dolgu malzemesi dışında kalan diğer katmanlar sabit tutulup duvar dolgu malzemeleri çeşitlendirilmiştir. Bu bağlamda, Şekil 3'te verilen mevcut duvar katmanları üzerinden kabuğun ısı iletim katsayısı (U değeri) TS 825'te belirtilen Eşitlik 1 ve 2 yardımıyla hesaplanmış ve ısı iletim katsayısı $0.27 \text{ W/m}^2\text{K}$ olarak belirlenmiştir. Karabük ili Safranbolu ilçesi 3. Derece gün bölgesinde yer aldığından, belirlenen değer TS825'e göre önerilen duvar ısı iletim katsayısına uygun olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle tuğla ve gazbetondan oluşturulacak alternatif duvarlar için de ısı iletim katsayısı $0.27 \text{ W/m}^2\text{K}$ olacak şekilde oluşturulmuş, tuğla ve gazbeton dışında kalan katmanların kalınlıkları her duvarda sabit kalacak şekilde düzenlenmiştir. Düzenlenen alternatif duvarlara ait grafikler Şekil 4 ve 5'te, katman kalınlıkları ise Tablo 2'de verilmiştir.

$$R = (d_1 / \lambda_{h1}) + (d_2 / \lambda_{h2}) + \dots + (d_n / \lambda_{hn}) \quad (1)$$

Bu eşitlikte;

R= Çok tabakalı yapı bileşenlerinde ısı geçirenlik direnci
 d_1, d_2, \dots, d_n = Yapı malzemesi kalınlıkları
 $(\lambda_{h1}, \lambda_{h2}, \dots, \lambda_{hn})$ = Yapı malzemelerinin ısı iletkenlik hesap değerleri

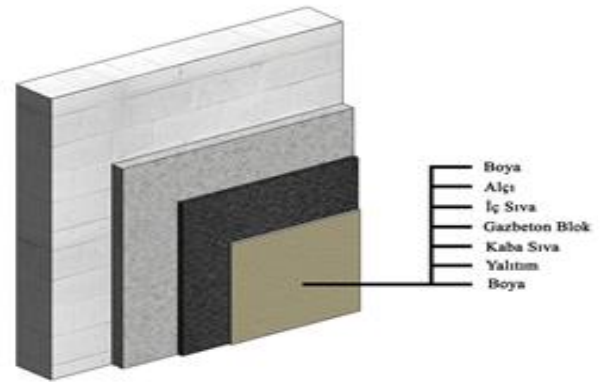
$$U = 1/R \quad (2)$$

Bu eşitlikte;

U=Yapı bileşeninin toplam ısı geçirenlik katsayısı
R= Çok tabakalı yapı bileşenlerinde ısı geçirenlik direnci

Tablo 2. Duvar malzemelerinin kalınlıkları

Malzemeler	Isıl İletkenlik Hesap Değeri W/(m.K)	Kalınlık (m)	Yoğunluk (kg/m ³)
Bims	0.23	0.20	1070
Tuğla	0.54	0.47	1550
Gazbeton	0.21	0.18	580



Şekil 5. Gazbeton ile oluşturulan duvar katmanları

2.4. Duvar Malzemelerinin YDD Yöntemi ile Çevresel Etkilerinin Belirlenmesi

Duvar malzemelerinin çevresel etkilerinin belirlenmesinde YDD yöntemi kullanılmıştır. Yöntemi kullanırken, yapı Autodesk Revit Architecture programında modellenmiş (Şekil 6) ve çevresel etkisinin belirlenmesinde Tally eklentisi çalıştırılmıştır (Şekil 7). Tally GaBi veritabanı üzerinden çalışan, yapının beşikten mezara tüm evrelerinin çevresel etkilerini ortaya koyabilen bir arayüz olup, Autodesk Revit programı ile birlikte sıklıkla tercih edilip, hızlı sonuç verebilen bir yaşam döngüsü değerlendirme aracıdır (Najjar vd., 2017; Bueno ve Fabrico, 2018; Hasik vd., 2019; Tushar vd., 2021; Raposo vd., 2019).

Tuğla, gazbeton ve bims bloğun çevresel etkilerinin belirlenmesinde seçilen işlevsel birim ve hizmet ömürleri Tablo 3'te verilmiştir. YDD yöntemi ile bütün duvar konstrüksiyonlarının çevresel etkileri belirlenmiş ve konstrüksiyonu oluşturan malzemelerin ayrı ayrı çevresel etki değerlerine ulaşılmıştır. Bu bağlamda seçilen tuğla, gazbeton ve bimsblok duvar malzemelerinin duvar konstrüksiyonunun çevresel etki değerindeki katkısı da Şekil 9-13'te belirtilmiştir.

Tablo 3. Duvar malzemelerine yönelik YDD kriterleri

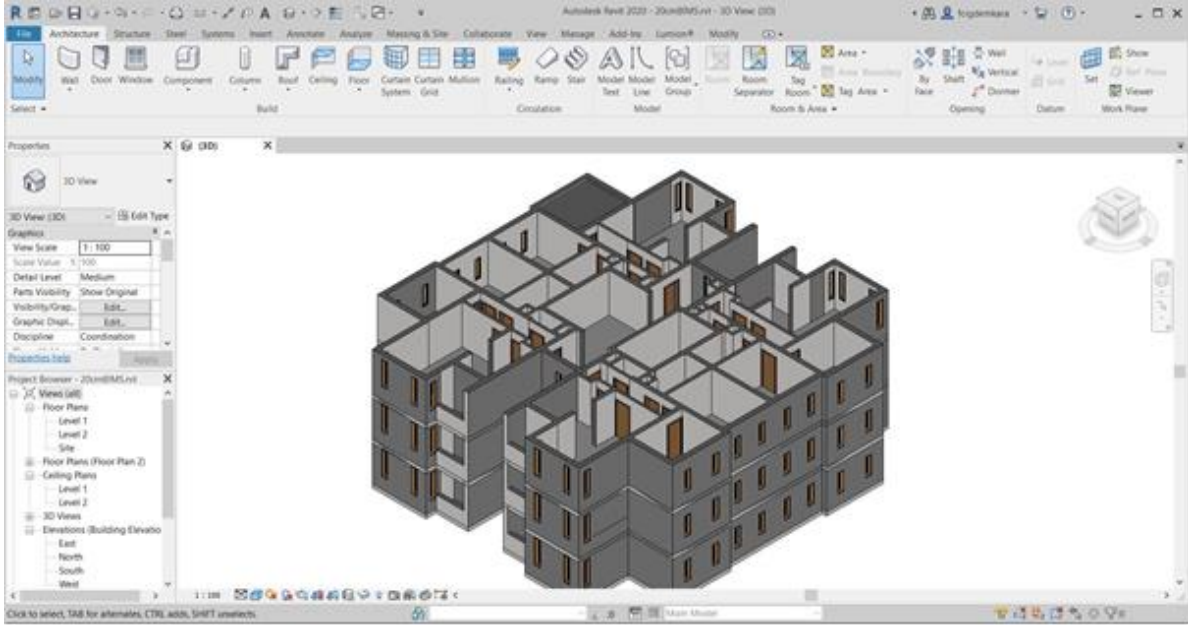
	Hizmet Ömrü (yıl)	İşlevsel Birim
Malzemeler	60	m ²

Duvar malzemelerinin çevresel etkilerinin belirlenmesinde A1-A3 evreleri olan ürün evresi ile inşaat evresinin A4 evresi ele

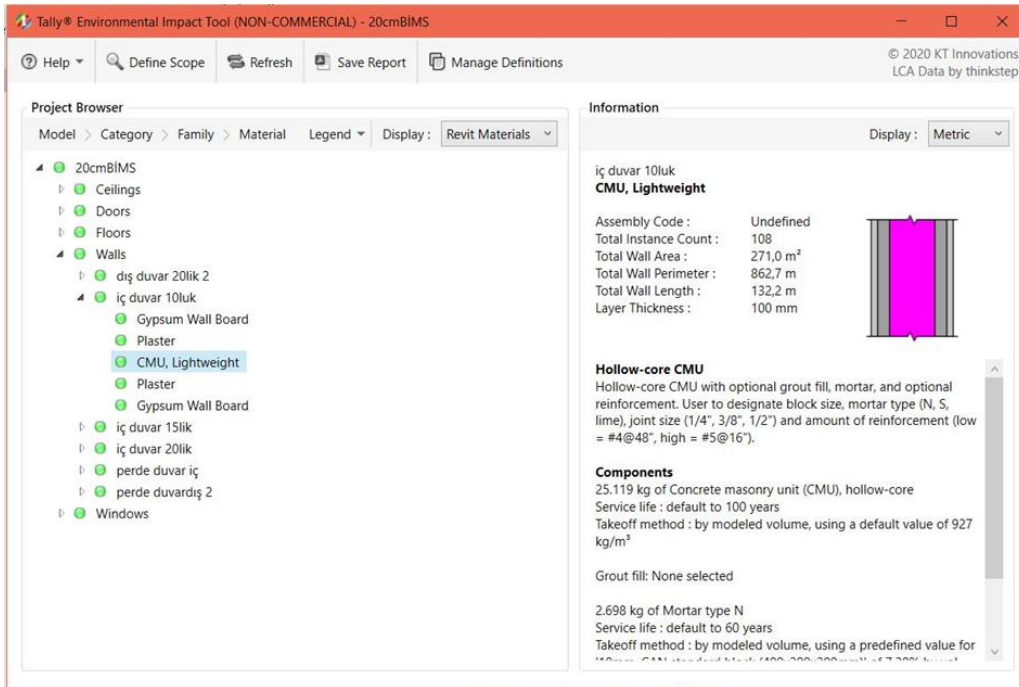
alınmıştır (Şekil 8). Çalışmaya A4 evresinin eklenme nedeni, çevresel etki değerlendirmelerinde ürünün şantiyeye taşınması evresinin göz ardı edilmesi durumunda büyük oranda çevresel etki görmezden gelinebilmekte (Murmu ve Patel, 2018; Buyle vd., 2013), ayrıca yüksek nakliye giderleri ile karşılaşılabilir. Bu nedenle çevresel etki değerlendirmelerinde A4 evresinin özellikle ele alınması gerekmektedir.

Yapı malzemelerinin A4 evresindeki çevresel etkileri, ürünlerin şantiye evresine getirilmesinde oluşan CO₂ salımı ve

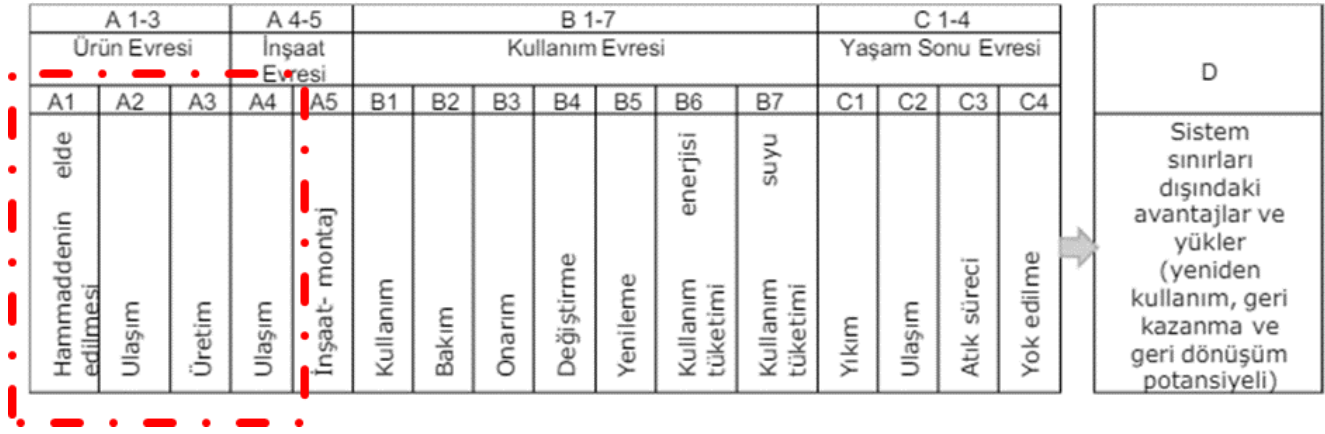
enerji tüketimi bağlamında değerlendirilmiştir. Malzemelerin üretim alanına taşınması sırasında gerekli enerji ve bu işlem sonucunda ortaya çıkan CO₂ salım değeri EN 16258'e göre EcoTransit World (Ecological Transport 62 Information Tool for Worldwide Transports) çevrimiçi hesaplama aracı kullanılarak belirlenmiştir (ecotransit.org, 2016). Malzemelerin fabrikadan şantiye alanına getirilmesinde kabul edilen fabrikalar ve uzaklıkları Tablo 4'te verilmiştir.



Şekil 6. Yapının Autodesk Revit Architecture programında modellenmesi



Şekil 7. Autodesk Revit Architecture programı Tally eklentisi arayüzü



Şekil 8. Çalışmada ele alınan yaşam döngüsü değerlendirme evreleri

Tablo 4. Duvar malzemelerinin varsayılan temin yeri ve mesafeleri

Malzemeler	Şehir	Firma	Mesafe
Tuğla	Bartın	Işıklar Tuğla	78.4 km
Bims	Ankara	KRS Blok	203 km
Gazbeton	Kırıkkale	AKG Gazbeton	249 km

YDD'de TRACI 2.1 karakterizasyon şeması seçilmiştir. Bu şemada malzemelerin;

- Küresel ısınma potansiyeli,
- Asidifikasyon potansiyeli,
- Ötrofikasyon potansiyeli,
- Fotokimyasal ozon gazı oluşumu,
- Ozon tabakasının tahribatı tespit edilebilmektedir.

2.5. Duvar Malzemelerinin Yapının Enerji Performansına Etkisinin Belirlenmesi

Duvar malzemelerinin yapının enerji performansına etkisi Design Builder programı kullanılarak belirlenmiştir. Bu alandaki gelişmiş ve güncel yazılımlardan biri olan ve ısıtma ve soğutma sistemlerini simüle eden Design Builder yazılımı binanın ısıtma, soğutma, aydınlatma, ev aletleri, su tüketimi gibi farklı enerji kullanımını dinamik olarak modelleme yeteneğine sahiptir (Tindale, 2005).

Duvar malzemelerinin yapının ısı kütlesine etkisinin belirlenmesinde EN ISO 13786'e göre hesaplama yapan HTflux ısı kütle hesaplama aracı kullanılmıştır. HTflux, ısı ve su buharı taşınımının iki boyutlu simülasyonu için kullanılan bir yazılımdır. HTflux tarafından geliştirilen bir yöntem olan GLASER 2d, bilinen ve kanıtlanmış Glaser yöntemini iki boyutlu geometrilere uygulayarak simülasyonlar oluşturulmasına olanak sağlamaktadır (URL 3).

3. Bulgular

Bu bölümde duvar konstrüksiyonlarının ve seçilen duvar malzemelerinin çevresel etki değerleri ve yapının enerji performansına etkisi verilmiştir.

3.1. Duvar Malzemelerinin Çevresel Etki Değerleri

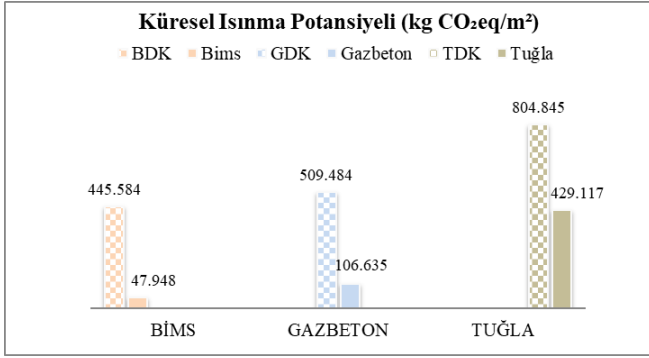
Çalışmada seçilen duvar malzemelerinin çevresel etkileri ve içinde yer aldığı duvar konstrüksiyonlarının çevresel etki değerlerindeki payı, ürün evresi (A1-A3) ve ulaşım evresi (A4) evresi olmak üzere ayrı ayrı verilmiştir.

3.1.1. A1-A3 Evresi

Küresel iklim değişikliği, uzun dönemli sıcaklık, yağış, rüzgâr gibi iklimsel faktörlerin değişimi olarak tanımlanmaktadır. Küresel ısınma, küresel iklim değişikliğinin bir çeşidi olmakla birlikte yüzeye yakın havanın ve okyanusların ortalama sıcaklığının da artmasıdır (Calkins, 2009). Küresel ısınmaya sera gazları neden olmaktadır. Sera gazları karbondioksit (CO₂), metan (CH₄), azotoksit (NO_x), ozon (O₃), sülfürheksaflorit (SF₆), hidroflorokarbon (HFC), perklorokarbon ve kloroflorokarbonlar (CFC) olarak sayılabilmektedir. Ayrıca doğrudan küresel ısınmaya etkisi olmayan gazlar indirekt etkiyle yeryüzeyindeki ve stratosferik ozondaki sera gazı formunu etkilemektedir. Bunlar ise karbon monoksit (CO), azotoksitler (NO_x) ve CH₄ içermeyen uçucu organik bileşiklerdir (NMVOCs). Fosil yakıtlar, yüksek basınç altında oluştuklarından karbondioksit içeriği yüksek yakıtlardır. Bu yakıtların kullanımı sonucunda büyük oranda CO₂ ve sera gazları açığa çıkmakta ve atmosfere karışmaktadır.

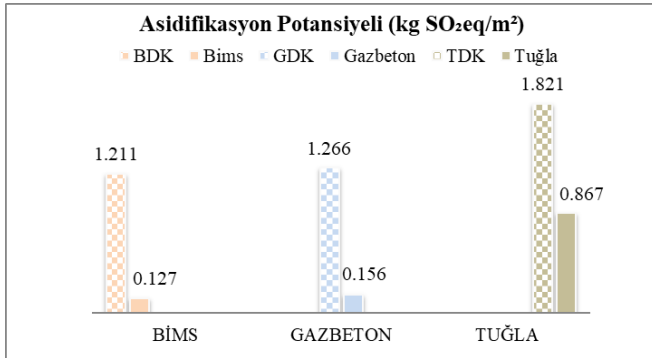
Tuğla, gazbeton ve bims bloktan oluşturulan duvar konstrüksiyonlarının A1-A3 evresindeki çevresel etki değerleri incelendiğinde, Şekil 9'da görülebileceği gibi en yüksek küresel ısınma potansiyeline sahip duvar konstrüksiyonunun tuğla duvar konstrüksiyonu olduğu ve tuğlanın etki değerinin konstrüksiyonun etki değerindeki payının %53.31 olduğu tespit edilmiştir. Aynı ısı iletkenlik değerine (0.27 W/m²K) sahip duvar konstrüksiyonları içinde en düşük küresel ısınma potansiyeline sahip duvar konstrüksiyonu ise bims blok duvar konstrüksiyonudur. Konstrüksiyonun etki değerinde en az payı (%10.76) olan malzeme ise yine bims bloktur. Gazbetonun küresel ısınmada duvar konstrüksiyonu içerisindeki payı %20.92'dir. Tuğlanın üretimi esnasında açığa çıkan karbon salımlarının diğer duvar malzemelerine göre fazla olması, üretim sürecinde yüksek ısı enerjisi gerektirmesi ve bu enerjinin de fosil yakıtlardan sağlanması ile açıklanabilmektedir.

Asitleşme, sülfür ve nitrojen (asit gazları) bileşiklerinin suda çözünmesiyle su yüzeyine geçmesi ya da katı parçacıklar halinde toprağa bağlanmasıyla oluşmaktadır. Bu bileşikler ilk olarak asit yağmurları şeklinde kuru ya da ıslak çökeltme sürecinde ekosisteme ulaşmaktadır (Calkins, 2009). Büyük şehirlerdeki çok sayıda motorlu araçtan çıkan azot oksit salımları, fosil yakıt kullanımı, volkanlar ya da çürüyen bitki örtüsünden salınan sülfürdioksit ya da nitrojenoksit gazları da asit birikimine katkı yapmaktadır (Selici vd., 2005).



Şekil 9. Duvar konstrüksiyonları ve seçilen duvar malzemelerinin küresel ısınma potansiyeli

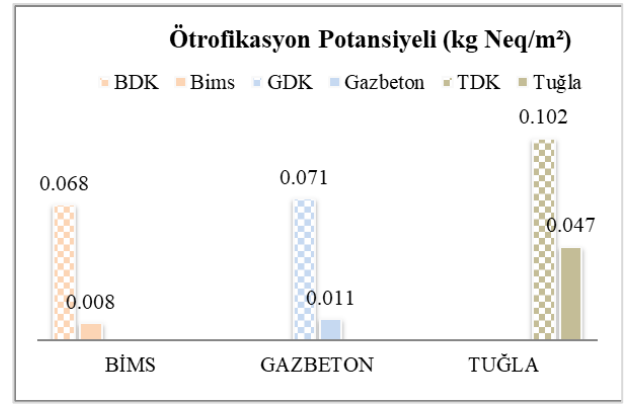
Şekil 10'da görülebileceği gibi en yüksek asidifikasyon potansiyeline sahip duvar konstrüksiyonunun tuğla duvar konstrüksiyonu olduğu ve tuğlanın etki değerinin konstrüksiyonun etki değerindeki payının %47.61 olduğu tespit edilmiştir. Duvar konstrüksiyonları, asidifikasyon potansiyeli özelinde etki değeri büyükten küçüğe doğru tuğla, gazbeton ve bimsblok duvar konstrüksiyonu olarak sıralanabilmektedir. Gazbeton ve bimsbloğun asidifikasyon potansiyelinde duvar konstrüksiyonu içerisindeki payı sırasıyla %12.32 ve %10.48'dir. Tuğlanın üretimi esnasında açığa çıkan asit gazlarının diğer duvar malzemelerine göre fazla olması, asidifikasyon potansiyelinde olduğu gibi üretim sürecinde yüksek ısı enerjisi gerektirmesi ve bu enerjinin de fosil yakıtlardan sağlanması ile açıklanabilmektedir.



Şekil 10. Duvar konstrüksiyonları ve seçilen duvar malzemelerinin asidifikasyon potansiyeli

Ötrofikasyon tatlı suların besin maddesi açısından zenginleşmesi ve bitki hayatının yüksek oranda gelişmesi ile sudaki ekolojik dengenin bozulması olarak tanımlanabilmektedir. Sınırlayıcı nütrient fosfor (P) ve antropojenik kaynaklardan bu elementlerin tatlı sulara geçişi, göllerin doğal yaşlanma sürecini hızlandırmaktadır. Bununla birlikte gelişen algler çözünmüş oksijeni önemli ölçüde tüketerek diğer canlıların ölümüne yol açabilmektedir (Kondalkar vd., 2019; Fan vd., 2019; Çiftçi ve Arslanoğlu, 2021).

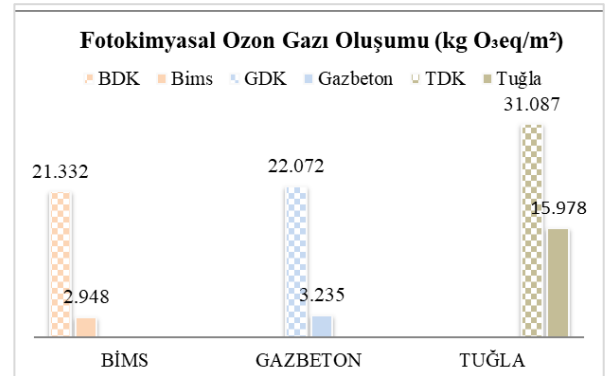
Şekil 11'de görülebileceği gibi duvar konstrüksiyonları ötrofikasyon potansiyeli özelinde incelendiğinde, etki değeri büyükten küçüğe doğru tuğla, gazbeton ve bimsblok duvar konstrüksiyonu olarak sıralanabilmektedir. Konstrüksiyonun etki değerinde en fazla payı (%46.07) olan malzeme ise yine tuğladır. Gazbeton ve bims bloğun ötrofikasyon potansiyelinde duvar konstrüksiyonu içerisindeki payı sırasıyla %15.49 ve %11.76'dır.



Şekil 11. Duvar konstrüksiyonları ve seçilen duvar malzemelerinin ötrofikasyon potansiyeli

Atmosferdeki fotokimyasal reaksiyonlar güneş radyasyonunun başlangıcından itibaren farklı zamanlarda farklı aşamalarda seyretmektedir. Kent üzerinde sabah inversiyonunun etkisiyle yükselmemiş hidrokarbonlar, azot oksitler, metalik tozlar gibi hava kirleticiler bakımından zengin hava kütlelerinde kızıl-kahve renkli bir sis oluşmaktadır. Bu sis fotokimyasal ozon olarak tanımlanmaktadır. Araç egzozları, endüstriyel salımların oluşturduğu uçucu organik bileşikler ve nitrojen oksitlerin havaya karışmasıyla fotokimyasal ozon oluşmaktadır (Özcan vd. 2006).

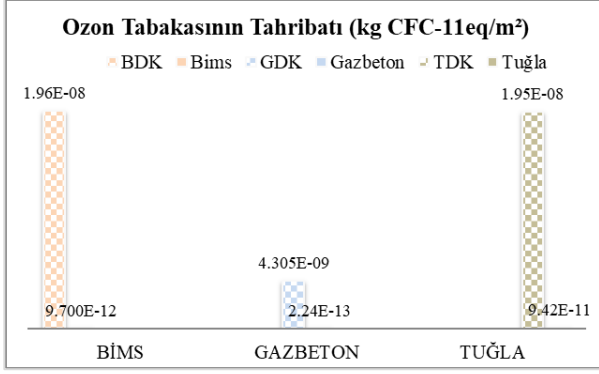
Şekil 12'de görülebileceği gibi en yüksek fotokimyasal ozon gazı oluşturma potansiyeline sahip duvar konstrüksiyonunun tuğla duvar konstrüksiyonu olduğu ve tuğlanın etki değerinin konstrüksiyonun etki değerindeki payının %51.39 olduğu tespit edilmiştir. Duvar konstrüksiyonları içinde en düşük fotokimyasal ozon gazı oluşturma potansiyeline sahip duvar konstrüksiyonu ise bims blok duvar konstrüksiyonudur. Konstrüksiyonun etki değerinde en az payı (%13.81) olan malzeme ise yine bims bloktur. Gazbetonun fotokimyasal ozon gazı oluşturmada duvar konstrüksiyonu içerisindeki payı %14.65'tir. Tuğlanın üretimi esnasında açığa çıkan endüstriyel hava kirleticilerinin diğer duvar malzemelerine göre fazla olması ile açıklanabilmektedir.



Şekil 12. Duvar konstrüksiyonları ve seçilen duvar malzemelerinin fotokimyasal ozon gazı oluşturma potansiyeli

Stratosferik ozon yüksek atmosferde, stratosfer tabakasında bulunmakta ve güneşten gelen zararlı ultraviyole ışınlarını emerek, bu ışınların olumsuz etkilerini ortadan kaldırdığından iyi huylu ozon olarak bilinmektedir (<http://dmi.gov.tr>). Kloroflourokarbon (CFC) gazı içeren spreyleyler, deodorantlar, böcek öldürücüler vb. gibi bileşikler, stratosfere kadar bozulmadan çıkarak kutuplara doğru yayılıp ozonla reaksiyona girerek ozonun konsantrasyonunu düşürmektedir. Böylece kutuplar üzerindeki ozon tabakasında yırtılmalar meydana gelmektedir.

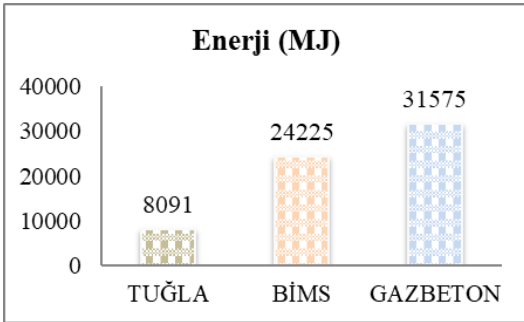
Şekil 13'te görülebileceği gibi en yüksek ozon tabakasının tahribine sebep olabilecek duvar konstrüksiyonunun tuğla duvar konstrüksiyonu olduğu ve tuğlanın etki değerinin konstrüksiyonun etki değerindeki payının %0.48 olduğu tespit edilmiştir. Duvar konstrüksiyonları içinde en düşük ozon tabakasının tahribine neden olabilecek duvar konstrüksiyonu ise gazbeton blok duvar konstrüksiyonudur. Konstrüksiyonun etki değerinde en az payı (%0.005) olan malzeme ise yine gazbeton bloktur. Bims bloğun ozon tabakasının tüketiminde duvar konstrüksiyonu içerisindeki payı %0.04'tür.



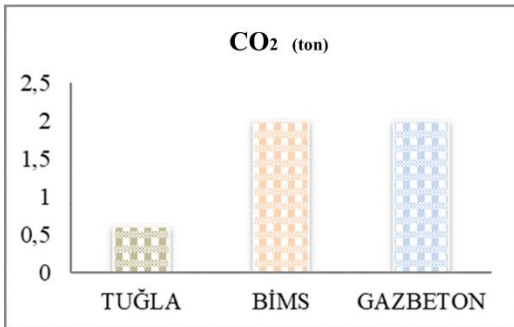
Şekil 13. Duvar konstrüksiyonları ve seçilen duvar malzemelerinin ozon tabakası tahribatı potansiyeli

3.1.2. A4 Evresi

Duvar malzemelerinin A4 evresinde (ürünün şantiye evresine nakliyesi) oluşan enerji tüketimi ve CO₂ salım değerleri Tablo 4'te verilen ulaşım verileri dikkate alınarak hesaplanmıştır. Ürünlerin A4 evresi için gerekli olan enerji miktarı tuğla, gazbeton ve bims blok için sırasıyla 8091 MJ, 24225 MJ ve 31575 MJ, CO₂ salımları ise 0.6, 2, 2 ton olarak belirlenmiştir. Şantiye alanına en uzak mesafede ürün temin yeri bulunan gazbeton, beklendiği gibi ulaşım için gerekli olan enerji tüketiminde ve CO₂ salımında ilk sırada yer almıştır (Şekil 14,15).



Şekil 14. Seçilen duvar malzemelerinin A4 evresi enerji tüketimi



Şekil 15. Seçilen duvar malzemelerinin A4 evresinde ortaya çıkan CO₂ salım değerleri

3.2. Duvar Malzemelerinin Yapının Enerji Performansına Etkisi

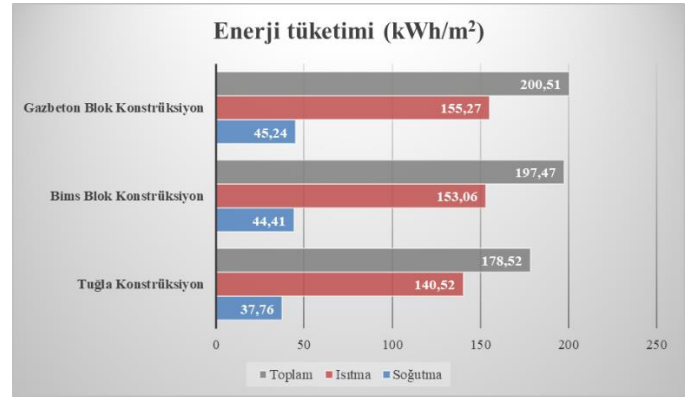
Bu bölümde duvar malzemelerinin yapının enerji performansına ve kabağın ısı kütlesi özelliğine etkisi ele alınmıştır.

3.2.1. Enerji Performansına Etkisi

Tuğla, gazbeton ve bims blok ile oluşturulan konstrüksiyonlar TOKİ konutları için Design Builder yazılımında analiz edilmiş ve konutun ısıtma ve soğutma ihtiyacı için yıllık enerji ihtiyacı belirlenmiştir. Tablo 5'te görülebileceği gibi, tuğla konstrüksiyon duvar ile üretilen konutun enerji ihtiyacı 178.28 kWh/m² ve bims blok konstrüksiyon duvar ile üretilen konutun enerji ihtiyacı 197.47 kWh/m² iken, gazbeton blok konstrüksiyon duvar ile üretilen konutun enerji ihtiyacı 200.51 kWh/m² olarak hesaplanmıştır (Şekil 16) Aynı duvar ısı iletkenlik değerine sahip olmasına rağmen tuğlanın yüksek ısı depolama yeteneği sayesinde enerji ihtiyacını azalttığı söylenebilmektedir (Tablo 6).

Tablo 5. Seçili duvar malzemeleri ile oluşturulmuş yapının enerji ihtiyacı

Konstrüksiyon	Isıtma (kWh/m ²)	Soğutma (kWh/m ²)	Toplam (kWh/m ²)
Tuğla	140.52	37.76	178.28
Bims	153.06	44.41	197.47
Gazbeton	155.27	45.24	200.51



Şekil 16. Seçili duvar malzemeleri ile oluşturulmuş yapının enerji tüketimi

3.2.2. Kabağın ısı kütlesi özelliğine etkisi

Tuğla, gazbeton ve bims bloğun kabağın ısı kütlesine etkisi değerlendirildiğinde, Tablo 6'da da görülebileceği gibi tuğlanın iç alan ısı kapasitesinin 52.958 kJ/(m².K), bims bloğun 48.059 kJ/(m².K), gazbetonun ise 45.844 kJ/(m².K) olduğu hesaplanmıştır. Tuğla konstrüksiyonun daha fazla ısı depolama kapasitesi sayesinde, ısı kütlesi üzerinde etkili olduğu söylenebilmektedir. Bu bağlamda, faz erteleme süresinin en uzun ve genlik küçültme faktörünün en yüksek olduğu konstrüksiyon tipi tuğla konstrüksiyondur. Yüksek ısı kütleye sahip konstrüksiyon tipi, iç mekanın ısı konforunun sağlanmasında enerji ihtiyacını düşürerek olumlu etki sağlamaktadır.

Tablo 6. Konstrüksiyonların ısı depolama kapasiteleri

Konstrüksiyon	İç alan ısı kapasitesi kJ/(m ² .K)	Dış alan ısı kapasitesi kJ/(m ² .K)	Toplam ısı kapasitesi kJ/(m ² .K)
Tuğla	52.958	5.267	58.225
Bims	48.059	5.625	53.684
Gazbeton	45.844	6.005	51.849

4. Sonuç ve Öneriler

Çalışma kapsamında duvar konstrüksiyonlarında kullanılan tuğla, gazbeton ve bims bloğun çevresel etkileri ve yapının kullanım evresindeki enerji performansına ve kabuğun ısı kütlesi özelliğine etkileri sürdürülebilir mimarlık bağlamında bütüncül bir bakış açısıyla ele alınmıştır. Duvar malzemelerinin çevresel etkileri TRACI 2.1 karakterizasyon şeması üzerinden ayrı ayrı etki sınıflarınca ele alınmıştır. Elde edilen veriler tuğlanın çevresel etkilerinin üretim sürecinde yüksek ısı enerjisi gerektirdiğinden gazbeton ve bims bloğa göre daha fazla olduğunu göstermektedir. Örnek alan olarak seçilen Safranbolu Kirkille TOKİ Konutları için tuğlanın Safranbolu'ya yakın olan Bartın'daki tuğla fabrikasından temin edileceği düşünüldüğünde, diğer malzemelerin tedarikine göre A4 evresindeki enerji tüketimi ve CO₂ salımı da en azdır.

Duvar malzemelerinin konutun enerji performansına etkisi incelendiğinde en düşük ısıtma ve soğutma yükünün tuğla konstrüksiyon ile inşa edilen konutta olduğu hesaplanırken, en yüksek ısı depolama kapasitesine sahip kabuk ise yine tuğladadır.

Yapının inşa edileceği arazi koşulları, makro ve mikroklimatik iklim koşulları, kullanım sıklığı ve ısıtma düzeni yapı kabuğunda kullanılacak malzeme seçimini birincil olarak etkilemektedir. Öyle ki, sıcak kuru veya soğuk iklim koşullarında inşa edilecek bir yapı için enerji tüketimi ve ısı kütlesi önemli bir parametre iken, kesikli ısıtma ve kullanım düzenine sahip bir yapı için yapının hafif konstrüksiyon ile hızlı ısınması öne çıkabilmektedir. Fakat malzemelerin her evrede düşük çevresel etki değerlerine sahip olması beklenmektedir. Malzemelerde düşük çevresel etki, yüksek enerji ve ısı performansının yolu ise yenilenebilir enerji kaynaklarının üretim sürecine dahil edilmesi ve malzemenin kullanım evresi sona erdiğinde geri dönüşüm yöntemleri ile atık yönetiminin kurgulanmasından geçmektedir. Fosil yakıtların neden olduğu çevresel etkiler bu yolla azaltılabilecek, temiz enerji kaynakları ile üretilen yapı malzemeleri geri dönüştürülerek hammadde ihtiyacının önüne geçilebilecektir.

Çalışmanın ilerleyen evrelerinde, farklı işleve sahip yapı türleri için malzemelerin etkileri üzerinde durularak, farklı makro ve mikroklimatik iklim koşullarındaki durumlarının tespit edilmesi planlanmaktadır.

Kaynakça

- Alkaya, E., Bögürçü, M. & Ulutai, F. (2012). Yaşam Döngüsü Analizi ve Bina Isı Yalıtım Malzemeleri İçin Uygulamalar. *Çevre Bilim & Teknoloji*, 3(4) 4, 261-274.
- Ardente, F., Beccali, M., Cellura, M., & Mistretta, M. (2008). Building energy performance: A LCA case study of kenaf-fibres insulation board. *Energy and Buildings*, 40(1), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.12.009>

- Ata-Ali, N., Penadés-Plà, V., Martínez-Muñoz, D., & Yepes, V. (2021). Recycled versus non-recycled insulation alternatives: LCA analysis for different climatic conditions in Spain. *Resources, Conservation and Recycling*, 175. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105838>
- Bai, T., Mao, B., Chen, A., Li, Y., Wu, S., Hu, Z., & Lin, Z. (2021). Investigation of low-temperature construction additives (LCAs) effects on the technical properties of asphalt binder. *Construction and Building Materials*, 304(February). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124634>
- Benli Yıldız, N., Arslan, H., & Yılmaz, E. (2020). Life Cycle Assessment of Building Materials: Literature Review. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8, 210–219.
- Bueno, C., & Fabricio, M. M. (2018). Comparative analysis between a complete LCA study and results from a BIM-LCA plug-in. *Automation in Construction*, 90 (January 2016), 188–200. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.02.028>
- Buyle, M., Braet, J., & Audenaert, A., (2013). İnşaat Sektöründe Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi: Bir İnceleme. *Yenilenebilir ve Sürdürülebilir Enerjiler Üzerine İncelemeler, Antwerp*, Belçika, vol. 26, ss. 379– 388, Oct.
- Calkins, M. (2009). *Materials for sustainable sites: a complete guide to the evaluation, selection, and use of sustainable construction materials*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons. 457 p.
- Chàfer, M., Pérez, G., Coma, J., & Cabeza, L. F. (2021). A comparative life cycle assessment between green walls and green facades in the Mediterranean continental climate. *Energy and Buildings*, 249. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111236>
- Chau, C. K., Leung, T. M., & Ng, W. Y. (2015). A review on Life Cycle Assessment, *Life Cycle Energy Assessment and Life Cycle Carbon Emissions Assessment on buildings*. 143, 395–413. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.01.023>
- Colangelo, F., Farina, I., Travagliani, M., Salzano, C., Cioffi, R., & Petrillo, A. (2021). Eco-efficient industrial waste recycling for the manufacturing of fibre reinforced innovative geopolymer mortars: Integrated waste management and green product development through LCA. *Journal of Cleaner Production*, 312(May), 127777. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127777>
- Çiftçi, H., & Arslanoğlu, H. (2021)Çinko Üretimi Atık Kekinin Fosfat Adsorpsiyon Özelliklerinin İncelenmesi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(1), 251-262. <https://doi.org/10.35193/bseufbd.878902>
- Ding, G. K. C. (2013). Life cycle assessment (LCA) of sustainable building materials: An overview. *Eco-Efficient Construction and Building Materials: Life Cycle Assessment (LCA), Eco- Labelling and Case Studies*, 38–62. <https://doi.org/10.1533/9780857097729.1.38>
- DMİ, “Stratosferik Ozon Tükenimi”, <http://dmi.gov.tr> (2010).
- Dylewski, R., & Adamczyk, J. (2013). Life cycle assessment (LCA) of building thermal insulation materials. In *Eco-Efficient Construction and Building Materials: Life Cycle Assessment (LCA), Eco- Labelling and Case Studies*.

- Woodhead Publishing Limited.
<https://doi.org/10.1533/9780857097729.2.267>
- European Commission Energy Department (2021) "In focus: Energy efficiency in buildings", [pdf] Energy Department, Brussels, Available at: https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/energy_climate_change_environment/events/documents/in_focus_energy_efficiency_in_buildings_en.pdf [Erişim tarihi: 25.09.2021]
- Fan, R., Chen, C. L., Lin, J. Y., Tzeng, J. H., Huang, C. P., Dong, C. & Huang, C. P. (2019). Adsorption characteristics of ammonium ion onto hydrous biochars in dilute aqueous solutions. *Bioresource technology*, 272, 465-472.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.10.064>
- Hasik, V., Escott, E., Bates, R., Carlisle, S., Faircloth, B., & Bilec, M. M. (2019). Comparative whole-building life cycle assessment of renovation and new construction. *Building and Environment*, 161(May), 106218.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106218>
- Hesser, F. (2015). Environmental advantage by choice: Ex-ante LCA for a new Kraft pulp fibre reinforced polypropylene composite in comparison to reference materials. *Composites Part B: Engineering*, 79, 197-203.
<https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2015.04.038>
- Hossain, M. U., Poon, C. S., Lo, I. M. C., & Cheng, J. C. P. (2017). Comparative LCA on using waste materials in the cement industry: A Hong Kong case study. *Resources, Conservation and Recycling*, 120, 199-208.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.12.012>
- Ingrao, C., Messineo, A., Beltramo, R., Yigitcanlar, T., & Ioppolo, G. (2018). How can life cycle thinking support sustainability of buildings? Investigating life cycle assessment applications for energy efficiency and environmental performance. *Journal of Cleaner Production*, 201, 556-569.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.080>
- Jullien, A., Proust, C., & Yazoghli-Marzouk, O. (2019). LCA of alternative granular materials – Assessment of ecotoxicity and toxicity for road case studies. *Construction and Building Materials*, 227, 116737.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116737>
- Katsoyiannis, A., Leva, A. P & Kotzias, D. (2006) Determination of Volatile Organic Compounds Emitted from Household Products. *The Case of Velvet Carpets Fresenius Environ. Bull.*, 15, (8b) 943-949, 2006.
- Kondalkar, M., Fegade, U., Attarde, S. & Ingle, S. (2019). Phosphate removal, mechanism, and adsorption properties of Fe-Mn-Zn oxide trimetal alloy nanocomposite fabricated via co-precipitation method. *Separation Science and Technology*, 54(16), 2682-2694.
<https://doi.org/10.1080/01496395.2018.1550513>
- Konuklu, Y., & Paksoy, H. Ö. (2011). Faz Değiştiren Maddeler İle Binalalarda Enerji Verimliliği. *X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 919-930.
- La Rosa, A. D., Greco, S., Tosto, C., & Cicala, G. (2021). LCA and LCC of a chemical recycling process of waste CF-thermoset composites for the production of novel CF-thermoplastic composites. Open loop and closed loop scenarios. *Journal of Cleaner Production*, 304, 127158.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127158>
- Llantoy, N., Chàfer, M., & Cabeza, L. F. (2020). A comparative life cycle assessment (LCA) of different insulation materials for buildings in the continental Mediterranean climate. *Energy and Buildings*, 225, 110323.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110323>
- Manjunatha, M., Preethi, S., Malingaraya, Mounika, H. G., Niveditha, K. N., & Ravi. (2021). Life cycle assessment (LCA) of concrete prepared with sustainable cement-based materials. *Materials Today: Proceedings*, 47, 3637-3644.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.248>
- Marcelino-Sadaba, S., Kinuthia, J., Oti, J., & Seco Meneses, A. (2017). Challenges in Life Cycle Assessment (LCA) of stabilised clay-based construction materials. *Applied Clay Science*, 144(May), 121-130.
<https://doi.org/10.1016/j.clay.2017.05.012>
- Monahan, J., & Powell, J. C. (2011). An embodied carbon and energy analysis of modern methods of construction in housing: A case study using a lifecycle assessment framework. *Energy and Buildings*, 43(1), 179-188.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.09.005>
- Morris, F., Allen, S., & Hawkins, W. (2021). On the embodied carbon of structural timber versus steel, and the influence of LCA methodology. *Building and Environment*, 206(May), 108285. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108285>
- Murmu ve Patel, (2018). Sürdürülebilir Tuğla Üretimine Doğru: Genel Bakış Konstr. İnşa Etmek. *Anne*, 165, 112-125, 10.1016/j.conbuildmat.2018.01.038
- Najjar, M., Figueiredo, K., Palumbo, M., & Haddad, A. (2017). Integration of BIM and LCA: Evaluating the environmental impacts of building materials at an early stage of designing a typical office building. *Journal of Building Engineering*, 14(March), 115-126.
<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2017.10.005>
- Oztas Karaman S., & Tanaçan, L. (2015). Verification of Life Cycle Impact Assessment Model developed for Turkish Building Materials Sector. *The 2nd International International Sustainable Building Symposium*, 866-874.
- Özcan, H.K. , Şahin, Ü., Bayat, C. & Uçan, O.N (2006). İstanbul İli Tropsoferik Ozon (O3) Konsantrasyonlarının Hücresel Yapay Sınır Ağ Yöntemiyle Modellenmesi. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.* 21(2), 239-245
- Özdemir, A. (2019). Eskişehir Teknik Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi B- Teorik Bilimler. 7(2), 166-183. <https://doi.org/10.20290/estubtdb.517254>
- Özutku, O., & Karakuş, C. Binalarda Isı Yalıtım Yolu İle Enerji Tasarrufunun İklimlendirme Açısından İncelenmesi Ve Optimum Cam Kaplama Alanı Belirlenmesi. http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/f26d91da3dfa79e_ek.pdf
- Pannier, M. L., Lemoine, C., Amiel, M., Boileau, H., Buhé, C., & Raymond, R. (2021). Multidisciplinary post-occupancy evaluation of a multifamily house: An example linking sociological, energy and LCA studies. *Journal of Building Engineering*, 37(July 2020), 102139.
<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.102139>

- Peuportier, B., Thiers, S., & Guiavarch, A. (2013). Eco-design of buildings using thermal simulation and life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 39, 73–78. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.08.041>
- Rajagopalan, N., Bilec, M. M., & Landis, A. E. (2010). Residential life cycle assessment modeling: Comparative case study of insulating concrete forms and traditional building materials. *Journal of Green Building*, 5(3), 95–106. <https://doi.org/10.3992/jgb.5.3.95>
- Raposo, C., Rodrigues, F., & Rodrigues, H. (2019). BIM-based LCA assessment of seismic strengthening solutions for reinforced concrete precast industrial buildings. *Innovative Infrastructure Solutions*, 4(1), 1–10. <https://doi.org/10.1007/s41062-019-0239-7>
- Salazar, J. (2013). Life cycle assessment (LCA) of windows and window materials. *Eco-Efficient Construction and Building Materials: Life Cycle Assessment (LCA), Eco-Labeling and Case Studies*, 502–527. <https://doi.org/10.1533/9780857097729.3.502>
- Selici, T., Utlu Z. ve İlten N. (2005). Enerji Kullanımının Çevresel Etkileri Ve Sürdürülebilir Gelişme Açısından Değerlendirilmesi.
- Sezer, F. Ş., & Dilmaç, Ş. (2014). Farklı Duvar Malzemesi ve Yalıtım Uygulamalarının Isıl Davranışlarının Deneysel Olarak İncelenmesi. *Experimental Study on the Effects of Wall Materials and Insulation Conditions on the Thermal Behavior* (Vol. 29, Issue 2). <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/211241>
- Thiel, C., Stengel, T., & Gehlen, C. (2013). Life cycle assessment (LCA) of road pavement materials. *In Eco-Efficient Construction and Building Materials: Life Cycle Assessment (LCA), Eco-Labeling and Case Studies*. <https://doi.org/10.1533/9780857097729.2.368>
- Tindale, A. (2005). DesignBuilder Software, Retrieved 29 April, 2005.
- Tuna, M. (2015). Y.D.D. Yöntemi Kapsamında Yün Ve Plastik Esaslı Halı Kaplamalarının Çevresel Performansının Değerlendirilmesi ve İç Mekân Hava Kalitesine Etkileri. *TESKON*.
- Tuna Taygun, G. (2005). Yapı Ürünlerinin Yaşam Döngüsü Değerlendirmesine Yönelik Bir Model Önerisi. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 213 s.
- Tushar, Q., Bhuiyan, M. A., Zhang, G., & Maqsood, T. (2021). An integrated approach of BIM-enabled LCA and energy simulation: The optimized solution towards sustainable development. *Journal of Cleaner Production*, 289, 125622. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125622>
- UNFCCC-United Nations Climate Change,(2020). https://di.unfccc.int/detailed_data_by_party
- URL 1 : https://passipedia.org/_media/picopen/9f_160815_phi_building_criteria_en.pdf
- URL 2 : <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Ftwitter.com%2Femlakyonetim%2Fstatus%2F109278529463>
- [2542209%3Flang%3Dde&psig=AOvVaw0JVioI4hYTUIyaghOXLbt7&ust=1623415462699000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCLCupISMjfECFQAAAAAdA AAAABAY](https://www.htflux.com/en/)
- URL 3 : <https://www.htflux.com/en/>
- Valencia-Barba, Yovanna E., & Gómez-Soberón, J. M. (2019). LCA Analysis of Three Types of Interior Partition Walls Used in Buildings. *Proceedings*, 2(22), 1595. <https://doi.org/10.3390/proceedings2221595>
- Valencia-Barba, Yovanna Elena, Gómez-Soberón, J. M., Gómez-Soberón, M. C., & Rojas-Valencia, M. N. (2021). Life cycle assessment of interior partition walls: Comparison between functionality requirements and best environmental performance. *Journal of Building Engineering*, 44. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102978>
- Yıldız, A., Gürlek, G., Erkek, M., & Özbalt, N. (2008). Yapılarda Isı Yalıtım Kalınlığının Ekonomik ve Çevresel Analizi. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 28(2), 25-34.
- Yılmaz, E., Arslan, H., & Bideci, A. (2019). Environmental performance analysis of insulated composite facade panels using life cycle assessment (LCA). *Construction and Building Materials*, 202, 806–813. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.01.057>
- Yıldız, Y., Özbalt, T. G., & Arsan, Z. D. (2011). Farklı Cam Türleri ve Yönlerine Göre Pencere/Duvar Alanı Oranının Bina Enerji Performansına Etkisi: Eğitim Binası, İzmir. *Megaron*, 6(1). https://jag.journalagent.com/megaron/pdfs/MEGARON_6_1_30_38.pdf
- Wu, T., Gong, M., & Xiao, J. (2020). Preliminary sensitivity study on an life cycle assessment (LCA) tool via assessing a hybrid timber building. *Journal of Bioresources and Bioproducts*, 5(2), 108–113. <https://doi.org/10.1016/j.jobab.2020.04.004>