

**Araştırma Makalesi / Research Article**

**Binaların Dış Duvarlarının Yüzey Özelliklerine Bağlı Enerji Tüketim Analizleri ve Sıcaklık Sönüm Faktörü**

\*<sup>1</sup>Okan KON, <sup>2</sup>Koray SANDAL

<sup>1</sup>Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Balıkesir, Türkiye,  
[okan@balikesir.edu.tr](mailto:okan@balikesir.edu.tr), ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-5166-0258>

<sup>2</sup>Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği ABD, Balıkesir, Türkiye,  
[koraysandal@gmail.com](mailto:koraysandal@gmail.com), ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-9668-4352>

Geliş / Recieved: 26.10.2023;

Kabul / Accepted: 12.12.2023

**Öz**

Çalışmada, binaların yapı kabuğunun en yüksek yüzey alanına sahip dış duvarlarına uygulanan; beyaz boya, alüminyum, kırmızı tuğla, siyah boya, metal siyah kaplama, beton, mermer ve porselen-çini den oluşan sekiz çeşit kaplama ve boyalarına bağlı enerji, ekserji ve anerji incelemeleri yapılmıştır. Tüm incelemeler için TS 825'e ikinci iklim bölgesindeki Balıkesir ili kabul edilmiştir. Enerji tüketimi, ekserji miktarı ve Anerji değeri hesaplanmıştır. Enerji tüketimi hesapları için derece gün yöntemi kullanılmıştır. Derece gün hesapları için güneş hava sıcaklık değerleri hesaplanmıştır. Güneş hava sıcaklık değerleri hesaplanırken sekiz çeşit kaplamalar ve boyalar için soğurganlık ve yayıcılık değeri tespit edilmiştir. Sonuç olarak, ekserji miktarı enerji tüketimine bağlı olarak ısıtma ve soğutma dönemi birlikte düşünüldüğünde kömür enerji kaynağı kullanan, beyaz boyalı dış duvar yüzeyi için, kuzey yönünde en yüksek 21.405 kWh/m<sup>2</sup> ve en düşük ise doğal gaz enerji kaynağı kullanan metal siyah kaplamalı dış duvar yüzeyi için güney yönünde 5.118 kWh/m<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir. Ek olarak bina dış duvarları için farklı boya veya kaplamalara bağlı dış duvar için sıcaklığa bağlı sönüm faktörü tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Dış duvar kaplaması ve boyası, Güneş hava sıcaklığı, Ekserji, Anerji

\*<sup>1</sup>Sorumlu yazar / Corresponding author

*Bu makaleye atıf yapmak için*

Kon, O., & Sandal, K. (2023). Binaların Dış Duvarlarının Yüzey Özelliklerine Bağlı Enerji Tüketim Analizleri ve Sıcaklık Sönüm Faktörü. *Journal of Innovations in Civil Engineering and Technology (JICIVILTECH)*, 5(2), 49-69.

# Energy Consumption Analyses and Temperature Damping Factor Based on Surface Properties of Exterior Walls of Buildings

## Abstract

---

In this study, energy, exergy, and anergy analyses related to eight types of coatings and paints consisting of white paint, aluminium, red brick, black paint, black metal coating, concrete, marble and porcelain-tile were made which applied to the external wall of the buildings envelope with the highest surface area. Balıkesir province from the second climate zone was accepted for all examinations based on TS 825. Accordingly, energy consumption exergy and anergia were calculated. The degree-day method was used for energy consumption calculations. For degree-day calculations, solar air temperature values were determined. While calculating solar air temperature values, absorbance and emissivity values were found for eight coatings and paints. As a result, when the heating and cooling periods are considered together, depending on the energy consumption, the highest exergy in the north direction is 21.405 kWh/m<sup>2</sup>, and the lowest exergy is the metal black-coated outer wall using natural gas energy source for the white painted exterior wall surface using a coal energy source. It has been determined as 5.118 kWh/m<sup>2</sup> in the south direction for the surface. In addition, temperature dependent decrement factor was determined for the exterior walls of the building due to different paints or coatings.

**Keywords:** *Solar air temperature, External wall coating and painting, Exergy, Anergy*

## 1. Giriş

Bina kabuğu, bina enerji verimliliği ve termal konforun elde edilmesinde baskın bir rol oynar (Hua and Yu., 2019). Bina kabuğunun farklı unsurları, dış duvarlar, zeminler, çatı, tavan ve pencereler, bir binanın ısıtılması ve soğutulması, ısı konfor, havalandırma ve aydınlatma için gereken enerjiyi belirler. Bu dış cephe bileşenleri aracılığıyla bina enerji verimliliğini artıran unsurlar vardır. Bir binaya uygulanabilecek enerji verimliliği önlemleri arasında yansıtıcı malzeme ve boyaların kullanılması önemli yer tutar. Binaların opak ve saydam yüzeylerin yansıtma ve soğurma gibi termal özellikleri, ısı kazanımlarını önemli ölçüde etkiler ve yıllık ısıtma ile soğutma yüklerinde yüksek oranlara varan azaltmalar yapabilir (Gupta and Deb, 2019). Bina kabuğundaki boyalar, renklere bağlı olarak güneş radyasyonu emilimini etkiler. Daha açık renk aralıkları ile daha fazla güneş radyasyonu yansıtır ve diğer yandan, koyu renk aralıkları ile daha fazla güneş radyasyonu emer. Bu nedenle bina kabuğu renklerinin incelenmesi, binaların hem soğutma hem de ısıtma yüklerinin düşürülmesine katkı sağlayabilir (Alrwashdeh, Qadourah, Al-Falahat, 2022). Binaların opak bir yüzey üzerindeki dış kaplamanın rengi radyant güneş enerjisi tipe bağlı absorpsiyon ve yayıcılık faktörlerine bağlı olarak yapı tarafından kısmen yansıtılır, yutulur ve kısmen absorbe edilir (Ascione et al., 2010). Farklı emsivity seviyelerine sahip kaplamalar, binadaki güneş enerjisi ve pencereden geçen enerjinin kullanımını önemli

ölçüde etkiler (Kon and Caner, 2022a). Isı enerjisi, yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa akar, böylece binaların dış duvarlarının yapısına göre sıcaklık, enerji ve ekserji değerlerini incelemek için kullanılır. Isı enerjisi geçişine göre sıcaklık değeri azalır. Böylece entropi üretimi artar ve duvar yapısındaki ekserji geçişi azalır. Ekserjetik incelendiğinde, duvarlardaki yapısındaki sıcaklık değişimi sırasında entropi üretimini olur ve bunun sonucu ekserji yıkımı meydana gelir (Kılıçlı, 2018; Kon ve Caner, 2022b; Yıldırım, 2015). Binalarda enerji tüketimi hesaplanırken çoğunlukla termodinamiğin birinci kanunu dikkate alınır. Bu sistemin tamamı düşünüldüğünde enerji tüketimi hesaplarında yetersiz kalmaktadır. Buna göre enerji ve ekserji analizi yapılırken, termodinamiğin birinci ve ikinci kanunlarının her ikisinde dikkate alınması, binalarda enerji tüketimi, enerji akışı miktarı ve tesisat ekipmanların tasarlanması ile bu elemanların kullanılması açısından çok önemlidir. Enerji kullanılmayan enerjidir. Bir sistem için ekserji, enerji ile enerji arasındaki farktır ve azalma yönündedir. Enerjinin kullanılabilen kısmı ekserji olarak tanımlanabilir. Termodinamiğin birinci kanuna göre enerji ve ekserjinin toplamı sabit kalır. Tersinmez süreçlerde ise ekserjinin bir kısmı veya tamamı enerjiye dönüşür. Enerji, ekserjiye dönüştürülmez (Hepbaşlı, Özcan, Günerhan, Yıldırım, 2019). Enerjinin devamlı olarak arttığı, ekserjinin devamlı olarak azaldığı görülmektedir (Karakaşlı, 2012).

Duvarların termal performansları, odanın enerji tüketimi ve termal konforu üzerinde büyük etkiye sahiptir. Duvardan geçen ısı akışı, iç hava sıcaklığının değişmesine neden olur. Buda odanın soğutma/ısıtma enerji tüketimi ve ısıl konforunu doğrudan etkiler (Jin et al., 2012). Duvarlardaki sıcaklık azalma faktörü ile binaların enerji tüketimleri ve içindeki yaşayan insanların ısıl konforları için öngörüler yapılabilir. Bunlara bağlı sorunların oluşumunda çözüm önerileri sunulabilir.

Sıcaklık azalma faktörü, bina kabuklarının ısı depolama yeteneklerinin incelenmesi ve değerlendirilmesi için çok önemli termal atalet parametreleridir. (Fathipour ve Hadidi, 2017; Asan, 2006). Maksimum veya minimumunun sıcaklık dalgalanmasının bir duvar boyunca dış yüzeyden iç yüzeye yayılması, sıcaklık azalma faktörü olarak tanımlanır. Sıcaklık azalma faktörü, duvar malzemelerinin ısı depolama kapasitesini belirlemede önemli faktördür (Asan, 2006; Mavromatidis et al., 2012).

Literatürdeki yapılan çalışmaları incelenirse Hua ve Yu yaptıkları çalışmada, değişken iklim koşullarına uyarlanabilen bina kabuğu tasarlayarak, binalarda enerji verimliliğini artırmak için yeni bir uygulama önerilmiştir. EnergyPlus simülasyonu kullanılarak, beş farklı iklim koşulunda bina için uyarlanabilir kaplama kullanmanın enerji tasarrufu potansiyelini ortaya

çıkarmak için incelemeler yapılmıştır (Hua et. al., 2019). Gupta ve Deb çalışmalarında, Hindistan'ın Bombay kentindeki bir eğitim binasında mahal soğutması için çeşitli kaplama malzemelerinin iç hava sıcaklıkları ve enerji tüketimi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Simülasyon ile reflektif kaplamalı ve kaplamasız ısı yalıtımı, yeşil çatı ve bambu esaslı gölgeleme sistemleri uygulanarak enerji performansı değerlendirilmiştir (Grupta ve Deb, 2022). Alrwashdeh et. al. yaptıkları çalışmada, Ürdün'de enerji tasarrufu açısından binaların çatılarında boya renginin etkisi, mavi, beyaz ve siyah olmak üzere üç farklı renk için incelenmiş ve enerji tasarrufunda en iyi rengin siyah, beyazın ise en kötü etkisi olduğu görülmüştür Alrwashdeh et. al., 2022). Ascione et. al. çalışmalarında, Akdeniz iklimine sahip, İtalya'nın Napoli şehrindeki sosyal bir konut referans alınarak çeşitli dış kaplamalarına bağlı bina enerji tüketimleri incelenmiş ve bunun için dinamik simülasyonları yapılmıştır. Yerel iklim koşullarının en uygun yüzey kaplamalarının seçimini ve enerji talebini azaltmak için yenilikçi bir indeks olan yüzey faktörü önerilmiştir. Duvarın yüzey ışıma özellikleri yazın soğutma enerjisi talepleri üzerindeki etkisi ile özellikle mevcut binalar için önemli ısıtma veya soğutma tasarrufları elde edilebileceği görülmüştür (Ascione et. al., 2010). Kon ve Caner yaptıkları çalışmada 0.05 ile 0.89 yayma (emsivitesi) oranlarına sahip pencerelerin ısı transfer katsayıları hesaplanmıştır. Beş iklim bölgesi için ısıtma ve soğutma dönemlerinde pasif güneş enerjisi kazanımı hesaplamaları

yapılmıştır. Beş iklim bölgesinin güney, kuzey ve doğu/batı yönlerindeki güneş radyasyonu ve güneş enerjisi faktörleri belirlenmiştir. Buna göre ısıtma dönemi için güneş enerjisi kazancı ve soğutma dönemi için güneş enerjisi kaybı bulunmuştur (Kon and Caner, 2022a). Zhang and Zhai çalışmalarında, binaların dış yüzeylerine Termokromik toz ve diğer bileşenlerle sahip, renk değiştirme sıcaklığı 31 °C olan 12 farklı termokromik kaplama incelenmiştir. Bu kaplamaların yansıtma etkileri analiz edilmiş ve partikül boyutunun kaplamaların yansıtıcılığı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Ölçümler, binalar için enerji tüketimini azaltmada termokromik kaplamaların etkisini olduğu görülmüştür (Zhang and Zhai, 2019). Aldaftari et. al. yaptıkları çalışmada, güneş radyasyonunu yansıtacak ve daha kısa görünür dalga boylarında iletilmesine sağlayacak pigmentli kaplamalar kullanarak, bir serayı serin tutmak ve enerji tüketimini azaltmak için yeni yöntem geliştirmişlerdir (Aldaftari et. al., 2019). Somasundaram et. al. yaptıkları çalışmada, öncelikle eski bina stoğu için kolayca uygulanabilen bir güneş filminin kurulumunu içeren çift camın enerji tasarrufu üzerindeki etkisini en üst düzeye çıkarmak için gereken adımları incelemiştir (Somasundaram et. al., 2020). Fabiani et. al. çalışmalarında, Princeton Kentsel Kanopi Modeli, yazın kentsel aşırı ısınmaya karşı önlem alan, aynı zamanda kışın solar pasif ısıtmadan yararlanan gelişmiş bir kentsel çatı kaplama malzemesinin potansiyeli araştırılmıştır (Fabiani et. al., 2019) Ascione et. al. çalışmalarında, Pareto

yaklaşımı kullanılarak iki farklı iklimde (Yunanistan ve İtalya kıyıları), iki farklı inşaat teknolojisinin (betonarme hafif bir ev ve bir villa), enerji tasarrufu için optimal yenileme araştırmalarını içerir. Enerji tasarrufu açısından en verimli ve uygun maliyetli yenileme çözümleri, enerji sistemlerinin verimliliğinin iyileştirilmesi, tam çatı fotovoltaik sistemlerinin kurulumu, pencerelerin değiştirilmesi ve çatı ısı yalıtımıdır (Ascione et. al., 2020). Fabiani et. al. yaptıkları çalışmada, termokromik bir örtü ile iyi yalıtılmış bir prototip binanın ısı performansını değerlendirilmiş, soğuk ve karanlık uygulamalarla kıyaslama yapılarak analitik bir model sunulmuştur. Termokromik duvar boyasının uygulanmasının, yaz aylarında yüksek yansıtıcılığa sahip malzemelerin pasif soğutma etkisi ile kışın karanlık yüzeylerin güneş kazanımlarını birleştiren çözümünü göstermektedir (Fabiani et. al., 2020). Xie et. al. yaptıkları çalışmada, kaplamaların optik özelliklerini ve termal performansını değerlendirmek için beyaz dışındaki on kaplama incelenmiştir. Renk açıklığının yansımının baskın bir faktör olduğu ancak yakın kızılötesi yansımaya etkilemediği bulunmuştur (Xie et. al., 2019). Dehwah ve Krarti çalışmalarında, ABD konut birimleri için ısıtma ve soğutma termal yüklerini en aza indirmek için çatılara uygulanan değiştirilebilir ısı yalıtım sistemleri incelenmiştir. Farklı konumlarda bulunan prototip tek katlı bir evde termal konforu korurken ısıtma ve soğutma ihtiyaçlarını değiştirilebilir ısı yalıtım sistemleri ısıtma ve soğutma için gerekli enerji tüketimini önemli ölçüde

azaltabileceğini gösterilmiştir (Dehwah and Krarti, 2020). Qiu et. al. çalışmalarında, sıcak ve nemli iklimlerde pasif güneş enerjisi kullanarak enerji tasarrufu için Çin'in Guangzhou kentindeki ofis binasının zarflarındaki gerekli tasarım parametrelerini tespit etmek için veri madenciliği tekniklerini ve enerji simülasyonunu ile entegre eden bütüncül bir metodoloji önerilmiştir. EnergyPlus yazılımında toplam 115,200 tasarım senaryosu oluşturulmuş ve simüle edilmiştir (Qiu et. al., 2021). Yuxuan et. al. yaptıkları çalışmada, beş farklı renkte termokromik kaplamalar ve bunların optik özellikleri incelenmiştir. Çin in Şanghay şehrinde bulunan iki katlı bir ofis binası kullanılarak ve termokromik kaplamaların enerji performansını değerlendirmek için renk değiştirme özelliklerine dayalı üç aşamalı bir yöntem kullanılarak simülasyonlar yapılmıştır (Yuxuan et. al., 2020). Maduru et. al. çalışmalarında, şeffaf cam yerine çeşitli ultraviyole özellikteki kaplamalı akrilik camların bina ısı kazanç/kayıpları incelenmiştir. Bunun için Hindistan'daki sıcak ve ılıman iklimdeki dört katlı yüksek camlı binada camların ultraviyole özellikte kaplamalı akriliklerin termal geçirgenliği ve güneş-optik özelliklerini incelemeler yapılmıştır. Yapılan incelemeler sonucu şeffaf camla karşılaştırıldığında, ultraviyole özellikte kaplamalı akrilikler ısı kazancını sıcak ve ılıman iklimlerde % 25.5 oranında azalttığı görülmüştür (Maduru et. al., 2022). Wardi et. al. çalışmalarında, yenilikçi sandviç malzemenin termomekanik ve termal davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Alçı ve çimento harcı

kaplamanın, sandviç malzemenin termomekanik ve termal özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Geleneksel tuğla duvarlara kıyasla sandviç malzeme duvarlar için soğutma ve ısıtma enerji ihtiyaçlarında %31-45 aralığında kazanç sağladığı görülmüştür (Wardi et al., 2022). Liu et. al. yaptıkları çalışmada, güneş radyasyonu deneylerinin sonuçları, sarı-kahverengi super hidrofobik kaplamanın yüzey sıcaklığının, önemli bir soğutma etkisine sahip olan sıradan Portland çimento kaplamasına kıyasla 5.7 °C azaldığını göstermektedir. Bu çalışmada önerilen kaplama, yaz aylarında binaların enerji tüketimini azaltmak için dış duvarda ve çatısında da kullanılabileceğini göstermektedir (Liu et. al., 2021). Martínez-García et. al. çalışmalarında, konserve endüstrisinin bir yan ürünü olan midye kabuğu içeren yenilikçi bir sürdürülebilir bina kaplamasını incelenmişlerdir. Çalışmada, düşük enerji tüketen bir bina geliştirmek için kullanılan midye kabukları, beton temel ile dış ve iç kaplama duvarlarda agrega olarak, tüm zarf yalıtımında gevşek dolgu malzemesi olarak kullanılmıştır. Midye kabuğu malzemelerinin, enerji verimli binalar için Pasif Ev standardının karşıladığı sonucuna varılmıştır (Martínez-García et. al., 2021). Al-Naghi et. al. çalışmalarında, Suudi Arabistan'da bulunan test odasındaki, ısı yalıtım sıvası ve yansıtıcı kaplama ile gaz beton blok duvar kullanılarak inşa edilen duvarların termal performansı ve enerji verimliliği açısından incelenmiştir. Çalışma, yaz aylarında sıcak ve nemli bir iklim için yapılmıştır. Sonuçta yalıtım sıvası ve yansıtıcı kaplamaya sahip gazbeton

bloklar, gazbeton duvar test odasındaki enerji tüketiminde %58 oranında azalma sağladığı görülmüştür (Al-Naghi et. al., 2020). Montes et. al. yaptıkları çalışmada, binaların dış ve iç duvar yüzleri bir kaplama solüsyonu ile boyanmış ve kapalı bir alandaki termal incelemeleri yapılmıştır. Farklı çevre koşulları altında deneysel veriler alınmıştır. Bu veriler bir simülatöre aktarılarak termodinamik davranışları incelenmiştir. Bina enerji tasarrufu için, duvar sıcaklık ve ısı akısı davranışı tahmin edilmiştir (Montes et. al., 2020). Algarni yaptığı çalışmada, soğuk çatı kurulumunun Suudi Arabistan'da seçilen 13 bölgedeki konut binalarının soğutma ve ısıtma yükleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sonuçlar, pasif soğuk çatı teknolojisinin kullanımının, bir çatının termal performansını iyileştirmek ve böylece Suudi Arabistan'ın sert iklimi ve benzeri aşırı iklimlerde bina enerji tüketimini azaltmak için etkili bir yöntem olduğu sonucunu göstermektedir (Algarni, 2019). Zhang et. al. çalışmalarında, Çin'in güney şehirlerinden Chengdu'daki bir ofis binası için yansıtıcı malzemelerle kaplanmış duvarların ısı performansını araştırmak için bina dış kabuğunun geçici ısı transfer modeli oluşturulmuş ve deneysel olarak incelenmiştir. Sonuçlar, yansıtıcı kaplama malzemeleri için, dış duvarların güneş radyasyonunun ısı emiliminin azalmasından dolayı ortalama iç hava sıcaklığının, kaplama malzemeleri olmayan referans durumuna göre yaklaşık 2.4 °C daha düşük olduğunu göstermektedir (Zhang et. al., 2017). Özel ve Pıhtılı çalışmalarında, yaz ve kış dönemine

bağlı farklı yönlerdeki bina duvarı ve çatısı için güneş ışınımını yutma oranı, ısı kazanç ve kaybı yönünden incelenmiştir. Tuğla ve beton yapı malzemeleri için dış yüzey yutma oranına bağlı olarak ısı akıları hesaplanmıştır (Özel ve Pıhtılı, 2006). Rossi et. al. yaptıkları çalışmada, çatı uygulamaları için kırmızı ve kahverengi polyester esaslı organik kaplamaların termal, görsel ve dayanıklılık davranışları incelenmiştir. Kızılötesi spektroskopi, parlaklık ve kolorimetrik analizlerle değerlendirilmiştir (Rossi et al., 2020). Chen et. al. çalışmalarında, Çin'in sıcak yaz ve soğuk kış bölgesi, sıcak yaz ve ılık kış bölgesi ve ılıman bölgesinde tek cam sistemleri için güneş kontrolündeki spektral seçici absorpsiyon film kaplamalı cam sistemlerinin enerji tasarrufu etkisini değerlendirmek için global termal geçirgenlik ve güneş ısı kazanç katsayısı kullanılarak enerji tüketimi simülasyonlarıyla incelenmiştir (Chen et. al., 2022). Khabir ve Vakilinezhad çalışmalarında, İran'daki, sıcak bir iklimde bulunan tipik bir ofis binasının ısı davranışı ve enerji performansı üzerindeki soğuk kaplama malzemeli çeşitli cephe sistemlerinin etkisini incelenmiştir. Sonuçlar, çift cidarlı cephelerin kullanılmasının yıllık enerji tüketimini ve karbon dioksit emisyonlarını %63 oranında azaltabileceğini göstermiştir (Khabir ve Vakilinezhad, 2022). Peng et. al. çalışmalarında, ABD'deki binaların enerji tasarrufu için termal kabuğunun ana bileşenlerinden olan duvarların için renkli film kaplama malzemeleri incelenmiştir. Bu film kaplamalar, iç ve dış ortamlar arasındaki ışımsal ısı

alışverişini en aza indirmeye yardımcı olmaktadır. Böylece tüm yıl boyunca soğutma ve ısıtma için enerji tasarrufu sağlanmaktadır (Peng et. al., 2022). Zhu ve Mai yaptıkları çalışmada, şehirlerde bulunan yollardaki yansıtıcı malzemelerin, yaz mevsiminde kaplamalı yüzeylerde ve ortam havasındaki sıcaklığın düşmesinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüş ve kentsel ısı adasının belirli etkilerini geciktirmek için özellikle sıcak bölgelerde önerilmiştir (Zhu ve Mai, 2019).

Kılıçlı yaptığı çalışmada, Ege Üniversitesindeki Uluslararası Bilgisayar Enstitüsü binası için enerji tasarruf potansiyeli araştırmıştır. Binanın şimdiki ve iyileştirilmiş haldeki enerji ve ekserji analizleri yapılmış ve iyileştirme önerileri ile binanın enerji tasarruf potansiyeli belirlenmiştir (Kılıçlı, 2018). Yıldırım yaptığı çalışmada enerji analizi, optimum yalıtımlı ve yalıtımsız duvarlara sahip binaların duvar iç ile dış yüzey sıcaklıkları kullanılarak ısı kayıpları hesaplanmış ve ekserji analizleri yapmıştır (Yıldırım, 2015). Hepbaşı et. al. çalışmalarında, binaların ekserji analizinde kullanılan farklı yöntemler incelenmiştir. Geleneksel ve diğer binaların ekserjetik analizi yapılmıştır. HVAC mühendislerinin ekserjiye dayalı bina analizleri konusunda bilgi kazanmasına ve tasarım ile test aşamasında, enerjetik ve ekserjetik incelemelerin dikkate alınması gerektiği önerilmiştir (Hepbaşı et. al., 2019). Karakaşlı çalışmasında, Elâzığ ilinde bulunan Hayat Damla Hastanesi'nin önemli miktarda ısıtma enerjisine ihtiyaç duyulan, göz

polikliniğinin ve hastane binasının diğer farklı bölümlerinde enerji ve ekserji analizleri yapmıştır. Bina odalarının termodinamiğin birinci ve ikinci kanununa bağlı enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır (Karakaşlı, 2012). Shukuya çalışmasında, son 30 yılda yapılan ekserji araştırmalarının mevcut durumu hakkında genel bir bilgi vermiştir. Buna göre, termodinamiğin iki temel kanunundan, sıcak ve soğuk ekserji kavramlarının kısa bir tanıtımını yapmıştır (Shukuya, 2019). Kon ve Caner yaptıkları çalışmada, altı farklı duvar tipi ve üç farklı yalıtım malzemesine bağlı olarak dış duvarlar için optimum yalıtım kalınlığı hesaplamışlardır. Yalıtımsız duvar için optimum yalıtım kalınlığı hesaplanırken derece-gün ve yaşam döngüsü toplam maliyet yöntemleri kullanılmıştır. Çalışmada, Türk yalıtım standardına (TS 825) göre beş iklim bölgesini temsil edecek şekilde İzmir, Balıkesir, Ankara, Kayseri ve Erzurum şehirleri seçilmiştir (Kon ve Caner, 2022b). Kon yaptığı çalışmada, Aydın, Amasya, Eskişehir ve Ardahan illerindeki binalar için ömür maliyet analizi ve derecede-gün metodu kullanılarak dış duvarlar ve pencerelere için optimum yalıtım kalınlıkları ve cam sayısı hesaplanmıştır (Kon, 2018). Gong et. al. yaptıkları çalışmada, binalar için iklimlendirme sisteminin soğutma ve ısıtma kaynak sistemi için ürün ekserji maliyetinin analizini incelemişlerdir (Gong et. al., 2007). Yıldırım et. al. çalışmalarında; farklı bileşimli 102 beton duvar numunesi için her bir termofiziksel özelliğın arasındaki ilişki deneysel yöntemlerle incelenmiştir. Bu özelliklerin faz kayması ve sönüm oranı arasındaki değişim denklemlerle



verilmiştir. Termofiziksel özelliklerin, yapıların ısı karakterlere olan değişimi MATLAB tabanlı bir bilgisayar program ile araştırılmıştır (Yıldırım et. al., 2018).

Jin et al. yaptıkları çalışmada, duvarın termal performansını değerlendirmek için ısı akısı zaman gecikmesi ve ısı akısı azalma faktörü olan iki parametre incelemişlerdir. Çalışmalarında, tek boyutlu sayısal modele dayanarak, duvarın termal özelliklerinin ve duvar kalınlığının ısı akısı zaman gecikmesi ve ısı akısı azalma faktörü üzerindeki etkileri araştırılmıştır (Jin et al., 2012). Kontoleon and Eumorfopoulou çalışmalarında, belirli iklim koşulları için zaman gecikmesi ve azalma faktörünün duvar yönelimi ve dış yüzey güneş absorpsiyonundan nasıl etkilendiğini belirlemişlerdir (Kontoleon ve Eumorfopoulou 2008). Asan çalışmasında maksimum zaman gecikmesi ve minimum azalma faktörü açısından optimum yalıtım konumunu sayısal olarak incelenmiştir. Bunun için kompozit bir duvardaki tek boyutlu ısı iletim denklemi periyodik taşınım sınır koşulları altında Crank Nicolson şeması kullanmıştır (Asan, 2000). Fathipour ve Hadidi yaptıkları çalışmada, İran'da yaygın olarak kullanılan farklı duvar yapı malzemeleri için zaman gecikmeleri ve azalma faktörü özellikleri araştırılmıştır. Sandviç duvardaki ısı yalıtım katmanının yanı sıra duvar kalınlığı, iç ve dış ısı transfer katsayıları gibi farklı parametrelerin zaman gecikmesi ve azalma faktörüne etkisi araştırılmıştır (Fathipour ve Hadidi, 2017). Asan yaptığı diğer bir çalışmada, farklı duvar yapı malzemeleri için zaman gecikmeleri ve azalma faktörleri

sayısal olarak incelemiştir. Çalışmada, yirmi altı farklı yapı malzemesi seçildi. Hesaplamalar her malzeme için sekiz farklı kalınlık için tekrarlanarak kalınlık ve malzeme tipinin zaman gecikmesi ve azalma faktörüne etkisi araştırılmıştır (Asan, 2006). Mavromatidis et al. farklı çok katmanlı ısı yalıtımını içeren bir bina duvarı için zaman gecikmesinin ve azalma faktörünün sayısal olarak hesaplanmalarını yapmışlardır. Çalışmada, birleşik iletim, ışınum ve taşınım ısı transferi denklemine bağlı hesaplamalar kullanılmıştır (Mavromatidis et al., 2012).

Çalışmanın amacı binaların dış duvarlarına günümüzde en çok uygulanan; beyaz boya, alüminyum, kırmızı tuğla, siyah boya, metal siyah kaplama, beton, mermer ve porselençini den oluşan sekiz çeşit kaplama ve boyalarına bağlı enerji, ekserji ve anerji incelemektir. Dış duvarlar tüm yapı kabuğunda en yüksek yüzey alanına sahiptir. Buna bağlı olarak bina enerji tüketiminde en etkili yapı kabuğu elemanıdır. Enerji tüketimi hesaplarında derece gün yöntemi kullanılmıştır. Derece gün değerlerinin hesaplarında kullanılan sıcaklık, dış duvar kaplama ve boyaları için soğurganlık ve yayıcılık değerine bağlı olan güneş hava sıcaklığıdır. Çalışmada, ısıtma periyodu için doğal gaz ve kömür, soğutma periyodu için elektrik enerjisi tüketildiği kabul edilmiştir. Enerji tüketimine ile ekserji miktarı hesaplanmıştır. Anerji değeri tespit edilmiştir. Tüm hesaplamalar ve incelemeler, TS 825'de ikinci bölgedeki Balıkesir ili için yapılmıştır. Dış duvarları için farklı boya veya kaplamalara bağlı dış duvar için

sıcaklığa bağlı sönüm faktörü (sönüm oranı) çalışmada ek olarak tespit edilmiştir. Literatürde duvar yüzeylerinin kaplama ve boyalarına bağlı sadece enerji analizleri içeren çalışmalar mevcuttur. Fakat, bu çalışmada, duvar yüzeylerine uygulanan kaplama ve boyalarına bağlı enerji, ekserji ve anerjilerinin tümünü kapsayan analizlerinin yapılması ve mukayeselerinin yapılması ile yeni yaklaşım ile ülkemiz literature katkı sağlanmıştır.

## 2. Materyal ve Yöntem

Duvar yüzeyine bağlı güneş hava sıcaklığı,

$$T_{gh} = T_0 + \frac{\alpha \cdot I_g}{h_b} - \frac{\sigma \epsilon (T_0^4 - T_{gök}^4)}{h_b} \quad (1)$$

$$T_{gök} = 0.0552 T_0^{1.5} \quad (2)$$

TS 825 için derece-gün hesabı (aylar 30 gün kabul edilmiştir); Burada  $\alpha$  yüzey soğurganlığını,  $\epsilon$  duvar yüzeyi yayıcılığını,  $I_g$  güneş radyasyonunu (güney, kuzey ve doğu/batı yönleri için ayrı ayrı alınmıştır),  $h_b$  dış yüzeysel ısı transfer katsayısı (dış yüzeysel ısı transfer direnci  $0.04 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$  ve iç yüzeysel ısı transfer direnci  $0.13 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$  alınmıştır.)  $T_{gök}$  gök sıcaklığını,  $\sigma$  Stefan – Boltzmann sabitini ve  $\sigma$  duvar yüzeyi soğurganlığını göstermektedir (Özel, 2013; TS 825, 2013; Evangelisti et. al., 2019).

$$\text{Eğer } T_{gh} \leq T_i \quad \text{IDG} = 30 \sum_1^{12} (T_i - T_{gh}) \quad (3)$$

$$\text{Eğer } T_{gh} > T_i \quad \text{IDG} = 0 \quad (4)$$

$$\text{Eğer } T_{gh} > T_i \quad \text{SDG} = 30 \sum_1^{12} (T_{gh} - T_i) \quad (5)$$

$$\text{Eğer } T_{gh} \leq T_i \quad \text{SDG} = 0 \quad (6)$$

burada, IDG ısıtma derece günü, SDG soğutma dönemi derece günü,  $T_{gh}$  güneş hava sıcaklığını ve  $T_i$  ise iç ortam sıcaklığını ( $19 \text{ }^\circ\text{C}$  alınmıştır) göstermektedir (Kon, 2018; Ulaş, 2010).

Dış duvar için ısıtma ve soğutma enerji tüketimi;

$$E_{\text{Isıtma}} = \frac{0.024 U \text{ IDG}}{\eta_{\text{Isıtma}}} \quad (7)$$

$$E_{\text{Soğutma}} = \frac{0.024 U \text{ SDG}}{\text{COP}} \quad (8)$$

Burada, U dış duvar için ısı transfer katsayısıdır (TS 825 de 2. iklim bölgesi için  $0.57$  olarak alınmıştır).  $\eta_{\text{Isıtma}}$  ısıtma sistemi verimidir (doğal gaz için  $0.93$  ve kömür için  $0.65$  alınmıştır). COP soğutma sistemi performans değeri ( $2.5$  alınmıştır) (Özel and Pıhtılı, 2006; Özel, 2013; TS 825, 2013).

Dış duvar yüzeyi için ısıtma dönemi ekserji hesabı;

$$E_{x\text{Isıtma}} = E_{\text{Isıtma}} \cdot \left[ \left( 1 - \frac{T_{\text{dış}}}{T_{\text{iç Yüzey}}} \right) - \left( 1 - \frac{T_{\text{dış}}}{T_{\text{dış yüzey}}} \right) \right] \quad (9)$$

soğutma dönemi için ekserji hesabı;

$$E_{x\text{Soğutma}} = E_{\text{Soğutma}} \cdot \left[ \left( \frac{T_{\text{dış}}}{T_{\text{iç Yüzey}}} - 1 \right) - \left( \frac{T_{\text{dış}}}{T_{\text{dış yüzey}}} - 1 \right) \right] \quad (10)$$

$$E_n = E_x + A_n \quad (11)$$

Enerji ( $E_{\text{Isıtma}}$  ve  $E_{\text{Soğutma}}$ ), ekserji ( $E_{x\text{Isıtma}}$  ve  $E_{x\text{Soğutma}}$ ), ve anerjinin ( $E_{n\text{Isıtma}}$  ve  $E_{n\text{Soğutma}}$ ),

toplamıdır (Kılıçlı, 2018; Yıldırım, 2015; Hepbaşlı et. al., 2019; Karakaşlı, 2012; Çengel, 2011; Gong et. al., 2007).

Sıcaklığa bağlı sönüm faktörü (sönüm oranı):

$$SF = \frac{T_{iç,max} - T_{iç,min}}{T_{dış,max} - T_{dış,min}} \quad (12)$$

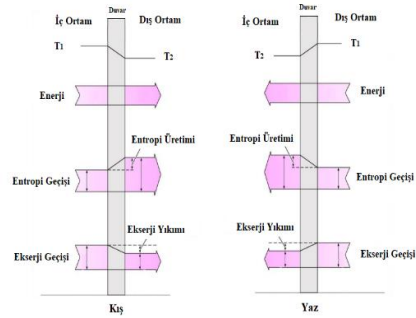
Sıcaklığa bağlı sönüm faktörü (sönüm oranı-SF) hesaplanırken, duvar iç ve dış yüzey maksimum ve minimum sıcaklık değerleri kullanılmaktadır (Yıldırım et. al., 2018). Çalışmada sıcaklığa bağlı sönüm faktörü (SF), hem kış hem de yaz dönemi için hesaplanmıştır.

Aralık 2013'te yayımlanan Türk Yalıtım Standardı TS 825'e göre 2. iklim bölgesinde bulunan Balıkesir ilinde, en düşük dış ortam sıcaklığı Ocak ayı için 2.9 °C en yüksek ise Temmuz ayı için 24.9 °C olarak verilmiştir. Denklem (1) ve (2) kullanılarak yapılan hesaplamalarla, beyaz boya ile kaplı dış duvar için en düşük Ocak ayında güney yönünde 0.2 °C, kuzey yönünde -0.3 °C ve doğu/batı yönlerinde -0.1 °C olarak hesaplanmıştır. En yüksek ise Temmuz ayında güney yönünde 23.0 °C, kuzey yönünde 22.9 °C ve doğu/batı yönlerinde 23.3 °C olarak tespit edilmiştir. Alüminyum ile kaplı dış duvar için en düşük Ocak ayında güney yönünde 3.0 °C, kuzey yönünde 2.9 °C ve doğu/batı yönlerinde 2.9 °C olarak hesaplanmıştır. En yüksek ise Temmuz ayında tüm yönlerde 25.1 °C olarak tespit edilmiştir. Kırmızı tuğla ile kaplı dış duvar için en düşük Ocak ayında güney yönünde 1.1 °C, kuzey yönünde 0.0 °C ve doğu/batı yönlerinde 0.4 °C olarak hesaplanmıştır. En yüksek

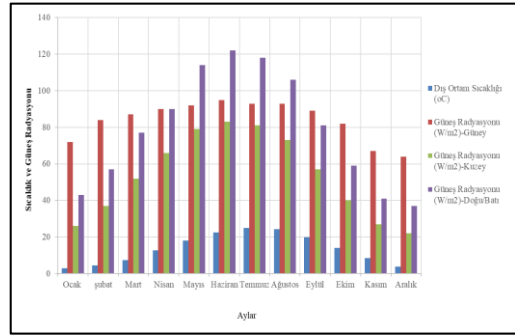
ise Temmuz ayında güney yönünde 24.3 °C, kuzey yönünde 24.0 °C ve doğu/batı yönlerinde 25.0 °C olarak tespit edilmiştir. Siyah boya ile kaplı dış duvar için en düşük Ocak ayında güney yönünde 1.9 °C, kuzey yönünde 0.1 °C ve doğu/batı yönlerinde 0.8 °C olarak hesaplanmıştır. En yüksek ise Temmuz ayında güney yönünde 25.5 °C, kuzey yönünde 25.0 °C ve doğu/batı yönlerinde 26.5 °C olarak tespit edilmiştir. Metal siyah kaplama ile kaplı dış duvar için en düşük Ocak ayında güney yönünde 5.1 °C, kuzey yönünde 3.5 °C ve doğu/batı yönlerinde 4.0 °C olarak hesaplanmıştır. En yüksek ise Temmuz ayında güney yönünde 27.9 °C, kuzey yönünde 27.4 °C ve doğu/batı yönlerinde 28.7 °C olarak tespit edilmiştir. Beton ile kaplı dış duvar için en düşük Ocak ayında güney yönünde 1.2 °C, kuzey yönünde 0.1 °C ve doğu/batı yönlerinde 0.5 °C olarak hesaplanmıştır. En yüksek ise Temmuz ayında güney yönünde 24.4 °C, kuzey yönünde 24.1 °C ve doğu/batı yönlerinde 25.0 °C olarak tespit edilmiştir. Mermer ile kaplı dış duvar için en düşük Ocak ayında güney yönünde 0.7 °C, kuzey yönünde -0.1 °C ve doğu/batı yönlerinde 0.2 °C olarak hesaplanmıştır. En yüksek ise Temmuz ayında güney yönünde 23.6 °C, kuzey yönünde 23.4 °C ve doğu/batı yönlerinde 24.0 °C olarak tespit edilmiştir. Porselen ve çini ile kaplı dış duvar için en düşük Ocak ayında güney yönünde 0.4 °C, kuzey yönünde -0.1 °C ve doğu/batı yönlerinde 0.1 °C olarak hesaplanmıştır. En yüksek ise Temmuz ayında güney yönünde 23.2 °C, kuzey yönünde 23.1 °C ve doğu/batı yönlerinde 23.5 °C olarak tespit edilmiştir. Beyaz boyanın soğurganlık değeri 0.26 iken yayıcılık değeri 0.9 dur. Soğurganlık

değeri düşük iken yayıcılık değeri yüksektir. Böylece tüm yönler düşünüldüğünde, ısıtma ve soğutma dönemlerinde çalışmadaki bütün kaplama ve boyalar için en düşük güneş hava sıcaklık değerine sahiptir. Alüminyum kaplamada ise soğurganlık değeri 0.09 ve yayıcılık değeri 0.03 ile en düşük soğurganlık ve yayıcılık değerine sahip olduğu görülmüştür. Isıtma ve soğutma dönemlerinde tüm yönlerde güneş hava sıcaklığı kısmen daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Siyah boyanın soğurganlık değeri 0.98 ve yayıcılık değeri 0.98 ile aynı değerde olması güneş hava sıcaklığını dış ortam kuru termometre sıcaklığına göre kısmi olarak arttırmıştır. Çalışmada, ısıtma ve soğutma dönemlerinde tüm yönlerde güneş hava sıcaklığı en yüksek değeri metal siyah kaplamada görülmektedir. Bunun nedeni soğurganlık değerinin 0.87 ile yüksek değerde iken yayıcılık değerinin 0.09 ile en düşük değerde olmasındandır. Isıtma döneminde güneş radyasyonu güney yönünde en yüksek değerde iken kuzey cephesinde en düşük değerdedir. Soğutma döneminde doğu/batı yönlerinde en yüksek değerlerde iken yine kuzey yönünde ise en düşük değerdedir. Bu değerler ve diğer değerler? Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4'te verilmiştir. Şekil 2'de Balıkesir ili için dış ortam sıcaklık ve farklı yönlerdeki güneş radyasyonu değerleri verilmiştir. Denklem (1) de kullanılan soğurganlık ve yayıcılık değerleri, Şekil 3'te farklı kaplama ve boyalar için gösterilmiştir. Tablo 1'de yılın en soğuk ve en sıcak ayları için renkteki boya ve kaplamalara bağlı farklı yönlerdeki sıcaklık değerleri verilmiştir. Şekil 1'de kış ve yaz için dış duvar yüzeyinden

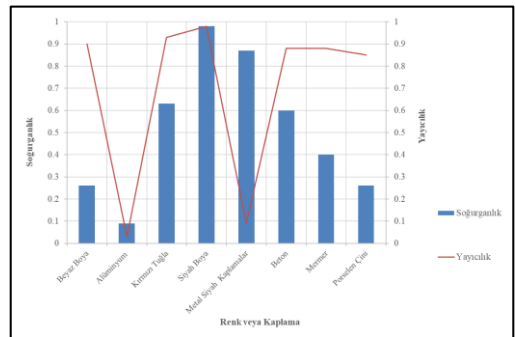
enerji ve ekserji geçişi şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1. Kış ve Yaz için dış duvar yüzeyinden enerji ve ekserji geçişi (Kılıçlı, 2018 ve Çengel, 2011).



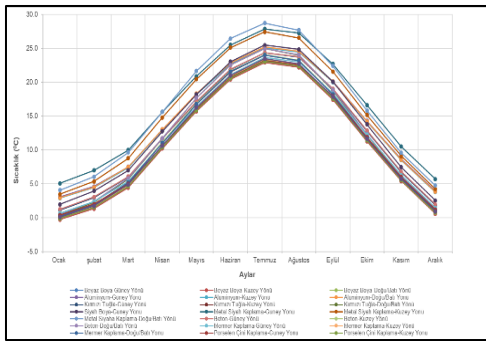
Şekil 2. Balıkesir ili için dış ortam sıcaklık ve farklı yönlerdeki güneş radyasyonu değerleri (TS 825, 2013).



Şekil 3. Farklı boya ve kaplamalar için soğurganlık ve yayıcılık değerleri (Çengel, 2011).

**Tablo 1.** Yılın en soğuk ve en sıcak ayları için boya ve kaplamalara bağlı farklı yönlerdeki sıcaklık değerleri

Boya veya Kaplama	Ay	Yön			Boya veya Kaplama	Ay	Yön		
		Gün ey	Kuzey	Doğu /Bati			Gün ey	Kuzey	Doğu /Bati
Beyaz Boya	Ocak	0.2	-0.3	-0.1	Alüminyum	Ocak	3.0	2.9	2.9
	Temmuz	23.0	23.0	23.3		Temmuz	25.1	25.1	25.2
Kırmızı Tuğla	Ocak	1.1	0.0	0.4	Siyah Boya	Ocak	1.9	0.1	0.8
	Temmuz	24.3	24.0	25.0		Temmuz	25.4	25.0	26.5
Metal Siyah Kaplama	Ocak	5.1	3.5	4.1	Beton	Ocak	1.2	0.1	0.5
	Temmuz	27.9	27.4	28.7		Temmuz	24.4	24.1	25.0
Mermer	Ocak	0.7	-0.1	0.2	Porselen Çini	Ocak	0.4	-0.1	0.1
	Temmuz	23.6	23.4	24.0		Temmuz	23.2	23.1	23.5



**Şekil 4.** Farklı renkteki boya ve kaplamalara bağlı farklı yönlerdeki tüm yıl için dış yüzey sıcaklık değerleri

### 3. Bulgular

Denklem (3) ile (6) arasında ısıtma ve soğutma derece gün değerleri hesaplanmıştır. Bu derece-gün değerleri kullanılarak, Denklem (7) de ısıtma dönemi için ve Denklem (8) de ise soğutma dönemi için enerji tüketimleri tespit edilmiştir. Bu göre, beyaz boya, alüminyum, kırmızı tuğla, siyah boya, metal siyah kaplamalar, beton, mermer ve porselen çini kaplama ve boyaların tümü düşünüldüğünde ısıtma döneminde doğal gaz yakıt kullanımına bağlı güney yönü için en yüksek enerji

tüketimi 42.904 kWh/m<sup>2</sup> ile beyaz boyada hesaplanmıştır. Kuzey yönü için ise aynı boyada 44.170 kWh/m<sup>2</sup>, doğu/batı yönlerinde için yine aynı boyada 43.555 kWh/m<sup>2</sup> hesaplanmıştır. En düşük ise güney yönü için 25.066 kWh/m<sup>2</sup> ile metal siyah kaplamada, kuzey yönü için aynı kaplamada 30.158 kWh/m<sup>2</sup> ve doğu/batı yönlerinde için yine aynı kaplamada 26.893 kWh/m<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir. Isıtma döneminde kömür yakıt kullanımına bağlı güney yönü için en yüksek enerji tüketimi 61.384 kWh/m<sup>2</sup> ile beyaz boyada, kuzey yönü için aynı boyada 63.198 kWh/m<sup>2</sup>, doğu/batı yönlerinde için yine aynı boyada 62.312 kWh/m<sup>2</sup> hesaplanmıştır. En düşük ise güney yönü için 35.863 kWh/m<sup>2</sup> ile metal siyah kaplamada, kuzey yönü için aynı kaplamada 43.150 kWh/m<sup>2</sup> ve doğu/batı yönlerinde için yine aynı kaplamada 38.478 kWh/m<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir. Soğutma dönemi için ise elektrik tüketimine bağlı olarak güney yönü için en yüksek enerji tüketimi 3.385 kWh/m<sup>2</sup> ile metal siyah kaplamada, kuzey yönü için aynı kaplamada 3.133 kWh/m<sup>2</sup>,

doğu/batı yönlerinde için yine aynı kaplamada 3.756 kWh/m<sup>2</sup> hesaplanmıştır. En düşük ise güney yönü için 0.986 kWh/m<sup>2</sup> ile beyaz boyada, kuzey yönü için aynı boyada 0.911 kWh/m<sup>2</sup> ve doğu/batı yönlerinde için yine aynı boyada 1.097 kWh/m<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir. Güneş hava sıcaklık değerine bağlı olarak hesaplanan ısıtma ve soğutma dönemi derece gün değerlerine bağlı olarak ısıtma ve soğutma periyodu enerji tüketimi değerleri değişmektedir. Beyaz boyada güneş hava sıcaklığı değerlerinin en düşük hesaplanmasına bağlı olarak en yüksek ısıtma derece gün değerleri bulunmuştur. Buna bağlı olarak ısıtma dönemi doğal gaz ve kömür bağlı enerji tüketimi değeri en yüksektir. Fakat soğutma derece gün değerlerinin en düşük olması sebebiyle soğutma döneminde ise en düşük elektrik enerjisi tüketimi elde edilmektedir. Siyah metal kaplamada ise tam tersi bir durum meydana gelmektedir. Isıtma döneminde en düşük derece gün değerleri hesaplanması ile en düşük doğal gaz ve kömür enerjisi tüketimi tespit edilmiştir. Soğutma döneminde ise en yüksek derece gün değerleri hesaplanmasına bağlı olarak elektrik enerjisi tüketimi en yüksek değerdedir. Doğal gaz yakıtının ısı verimi kömüre göre daha yüksek olması sebebiyle doğal gaz kullanılması daha az enerji tüketimine sebep olacaktır. Bu nedenle doğal gaz daha tasarruflu bir enerji kaynağıdır.

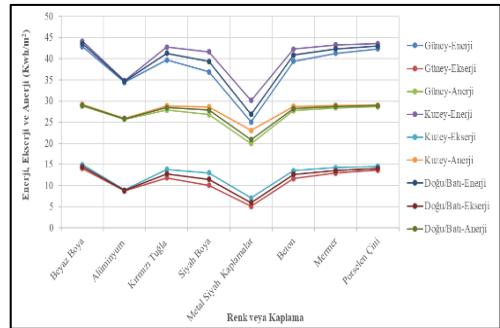
Denklem (9) ve Denklem (10) kullanılarak ısıtma ve soğutma dönemi için dış duvar yüzeyindeki kaplama ve boyalarına bağlı olarak ekserji kayıpları hesaplanmıştır. Isıtma döneminde doğal gaz yakıt ve soğutma döneminde elektrik kullanımına bağlı güney yönü için en yüksek ekserji tüketimi 14.076 kWh/m<sup>2</sup> ile beyaz boyada, kuzey yönü için aynı boyada 14.969 kWh/m<sup>2</sup>, doğu/batı yönlerinde için yine aynı boyada 14.495 kWh/m<sup>2</sup> hesaplanmıştır. En düşük ise güney yönü için 5.118 kWh/m<sup>2</sup> ile metal siyah kaplamada, kuzey yönü için aynı kaplamada 7.086 kWh/m<sup>2</sup> ve doğu/batı yönlerinde için yine aynı kaplamada 5.998 kWh/m<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir. Isıtma döneminde kömür yakıt ve soğutma döneminde elektrik kullanımına bağlı güney yönü için en yüksek ekserji tüketimi 20.125 kWh/m<sup>2</sup> ile beyaz boyada, kuzey yönü için aynı boyada 21.405 kWh/m<sup>2</sup>, doğu/batı yönlerinde için yine aynı boyada 20.723 kWh/m<sup>2</sup> hesaplanmıştır. En düşük ise güney yönü için 7.203 kWh/m<sup>2</sup> ile metal siyah kaplamada, kuzey yönü için aynı kaplamada 10.036 kWh/m<sup>2</sup> ve doğu/batı yönlerinde için yine aynı kaplamada 8.438 kWh/m<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir. Enerji tüketimiyle doğru orantılı olarak en yüksek ekserji miktarı beyaz boyada ve kuzey yönünde tespit edilmiştir. En düşük ise metal siyah kaplamada güney yönünde hesaplanmıştır.

Enerji tüketimi ile ekserji kayıpları değerleri ve Denklem (11) kullanılarak enerji değerleri tespit edilmiştir. Isıtma

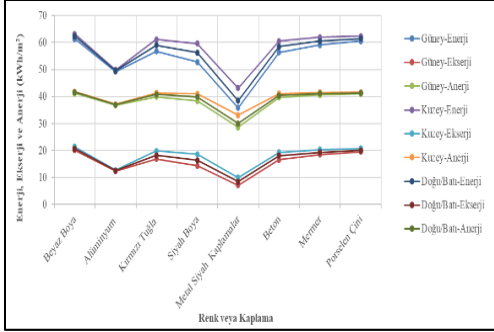
döneminde doğal gaz yakıt ve soğutma periyodunda elektrik kullanımına bağlı güney yönü için en yüksek anerji tüketimi 28.828 kWh/m<sup>2</sup> ile beyaz boyada, kuzey yönü için aynı boyada 29.902 kWh/m<sup>2</sup>, doğu/batı yönleri için yine aynı boyada 29.060 kWh/m<sup>2</sup> hesaplanmıştır. En düşük ise güney yönü için 19.948 kWh/m<sup>2</sup> ile metal siyah kaplamada, kuzey yönü için aynı kaplamada 23.072 kWh/m<sup>2</sup> ve doğu/batı yönleri için yine aynı kaplamada 20.895 kWh/m<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir. Isıtma periyodunda kömür yakıt ve soğutma periyodunda elektrik kullanımına bağlı güney yönü için en yüksek anerji tüketimi 41.260 kWh/m<sup>2</sup> ile beyaz boyada, kuzey yönü için aynı boyada 41.793 kWh/m<sup>2</sup>, doğu/batı yönleri için yine aynı boyada 41.595 kWh/m<sup>2</sup> hesaplanmıştır. En düşük ise güney yönü için 28.660 kWh/m<sup>2</sup> ile metal siyah kaplamada, kuzey yönü için aynı kaplamada 33.114 kWh/m<sup>2</sup> ve doğu/batı yönleri için yine aynı kaplamada 30.040 kWh/m<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir. Enerji tüketimiyle doğru orantılı olarak en yüksek anerji beyaz boyada ve kuzey yönünde tespit edilmiştir. En düşük ise metal siyah kaplamada güney yönünde hesaplanmıştır. Bu değerler ve diğer tüm değerler, Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7'de verilmiştir. Şekil 5'te ısıtma dönemi doğal tüketimi için farklı dış duvar yönündeki renkteki boya veya kaplamalara bağlı enerji, ekserji ve anerji değerleri gösterilmiştir. Şekil 6'da ısıtma dönemi kömür tüketimi için farklı dış duvar yönündeki renkteki boya veya kaplamalara bağlı enerji, ekserji ve anerji

değerleri verilmiştir. Şekil 7'de soğutma dönemi elektrik tüketimi için farklı dış duvar yönündeki renkteki boya veya kaplamalara bağlı enerji, ekserji ve anerji değerleri gösterilmiştir. Şekil 8'de ise ısıtma ve soğutma dönemi için farklı dış duvar yönündeki renkteki boya veya kaplamalara bağlı ayrıntı ekserji değerleri gösterilmiştir.

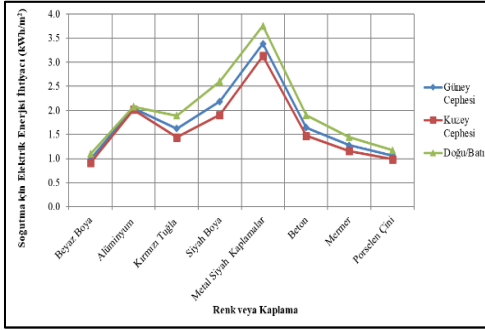
Kış dönemi için sıcaklığa bağlı sönüm oranı en yüksek 0.066 ile Alüminyum kaplamada güney yönünde hesaplanmıştır. En düşük ise siyah boyalı doğu/batı yönlerinde tespit edilmiştir. Yaz döneminde ise en yüksek sönüm oranı 0.095 ile metal siyah boyada doğu/batı yönünde hesaplanmıştır. En düşük ise 0.086 ile beyaz boya ve porselen çini kaplamada güney ve kuzey yönünde bulunmuştur. Bu ve diğer değerler Tablo 2'de verilmiştir.



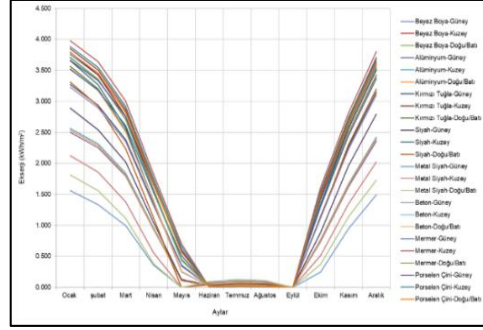
Şekil 5. Isıtma dönemi doğal tüketimi için farklı dış duvar yönündeki renkteki boya veya kaplamalara bağlı enerji, ekserji ve anerji değerleri



**Şekil 6.** Isıtma dönemi kömür tüketimi için farklı dış duvar yönündeki renkteki boya veya kaplamalara bağlı enerji, ekserji ve anerji değerleri



**Şekil 7.** Soğutma dönemi elektrik tüketimi için farklı dış duvar yönündeki renkteki boya veya kaplamalara bağlı enerji, ekserji ve anerji değerleri



**Şekil 8.** Isıtma ve soğutma dönemi için farklı dış duvar yönlerindeki boya veya kaplamalara bağlı ekserji değerleri.

#### 4. Sonuçlar

TS 825'te ikinci bölgesindeki Balıkesir ilindeki binaların dış duvarlarına çok yaygın olarak uygulanan sekiz farklı kaplama ve boya için yapılan incelemeler sonucu elde edilen sonuçlar:

En yüksek ısıtma derece gün değerleri beyaz boyada iken en düşük ise metal siyah kaplamada tespit edilmiştir. Soğutma derece gün değerleri ise tam tersi en yüksek metal siyah kaplamada ve en düşük ise beyaz boyada görülmüştür.

**Tablo 2.** Yılın kış ve yaz dönemi için boya ve kaplamalara bağlı farklı yönlerdeki sönüm faktörü (sönüm oranı) değerleri

Boya veya Kapl.	Dönem	Yön			Boya veya Kapl.	Dönem	Yön		
		Güney	Kuzey	Doğu /Batı			Güney	Kuzey	Doğu /Batı
Beyaz Boya	Kış	0.064	0.063	0.063	Alüminyum	Kış	0.066	0.065	0.065
	Yaz	0.086	0.086	0.087		Yaz	0.090	0.090	0.091
Kırmızı Tuğla	Kış	0.063	0.061	0.061	Siyah Boya	Kış	0.062	0.060	0.059
	Yaz	0.087	0.087	0.089		Yaz	0.088	0.088	0.091
Metal Siyah Kap.	Kış	0.064	0.062	0.061	Beton	Kış	0.063	0.061	0.061
	Yaz	0.092	0.092	0.095		Yaz	0.087	0.087	0.089
Mermer	Kış	0.063	0.063	0.062	Porcelain Çini	Kış	0.064	0.063	0.063
	Yaz	0.087	0.087	0.088		Yaz	0.086	0.086	0.087



Isıtma dönemi için kuzey yönünde ve soğutma dönemi için ise doğu/batı yönlerinde daha yüksek derece gün değerleri bulunmuştur. Burada en etkili parametre yönüne bağlı güneş radyasyonu değeri, duvar yüzeyi soğurganlığı ve yayıcılığıdır. Buna bağlı olarak ısıtma döneminde en yüksek ısıtma enerji tüketimi değeri kömür enerji kaynağı kullanan, beyaz boyalı dış duvar yüzeyi için, kuzey yönüne bağlı olarak, 63.198 kWh/m<sup>2</sup> hesaplanmıştır. Soğutma dönemi için kömür enerji kaynağı kullanan, metal siyah kaplamalı dış duvar yüzeyi için, doğu/batı yönlerinde 3.756 kWh/m<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir. En düşük ise ısıtma döneminde kömür enerji kaynağı kullanan, metal siyah kaplamalı dış duvar yüzeyi için güney yönüne bağlı olarak 35.863 kWh/m<sup>2</sup> hesaplanışken, soğutma döneminde beyaz boyalı dış duvar yüzeyi için kuzey yönünde 0.911 kWh/m<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir. Doğal gaz enerji kaynağı için bu değerler aynı parametrelere bağlı olarak ısıtma döneminde en yüksek 44.170 kWh/m<sup>2</sup> olarak bulunmuştur. En düşük ise 25.066 kWh/m<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır.

Ekserji miktarı için, enerji tüketimine bağlı tüm yıl boyunca, ısıtma ve soğutma dönemi birlikte düşünüldüğünde aynı parametrelere bağlı kömür enerji kaynağı kullanan, beyaz boyalı dış duvar yüzeyi için, kuzey yönüne en yüksek 21.405 kWh/m<sup>2</sup> hesaplanmıştır. En düşük ise kömür enerji kaynağı kullanan, metal siyah kaplamalı dış duvar yüzeyi için güney yönüne 7.203 kWh/m<sup>2</sup> hesaplanmıştır. Doğal gaz enerji kaynağına bağlı olarak, aynı parametreler için en yüksek 14.969

kWh/m<sup>2</sup> ve en düşük ise 5.118 kWh/m<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir.

Anerji değeri ise, tüm yıl boyunca, ısıtma ve soğutma dönemi birlikte düşünüldüğünde aynı parametrelere bağlı olarak kömür enerji kaynağı kullanan, beyaz boyalı dış duvar yüzeyi için, kuzey yönüne en yüksek 41.793 kWh/m<sup>2</sup> hesaplanmıştır. En düşük ise kömür enerji kaynağı kullanan, metal siyah kaplamalı dış duvar yüzeyi için güney yönüne 28.660 kWh/m<sup>2</sup> hesaplanmıştır. Doğal gaz enerji kaynağına bağlı olarak, aynı parametreler için en yüksek 29.202 kWh/m<sup>2</sup> ve en düşük ise 19.948 kWh/m<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir.

Tüm boya ile kaplamalar ve yaz ile kış dönemleri birlikte düşünüldüğünde, güney yönünde 0.062-0.092 arasında, doğu/batı yönlerinde 0.059-0.095 arasında, kuzey yönünde ise 0.060-0.092 arasında sıcaklık sönüm faktörü (sönüm oranı) hesaplanmıştır. Kış döneminde bütün kaplama ve boya türleri için sıcaklığa bağlı 0.066 ile sönüm faktörü (sönüm oranı) en yüksek güney yönünde alüminyum kaplamada, yaz döneminde ise en yüksek 0.095 ile doğu/batı yönlerinde tespit edilmiştir.

Kış döneminde en düşük doğu/batı yönlerinde 0.059 ve yaz döneminde ise en düşük 0.086 ile güney ve kuzey yönlerinde porselen-çini kaplama ve beyaz boyada bulunmuştur. Kış ve yaz dönemi sönüm faktörünün değerleri yönüne bağlı olarak birbirine ters durumda olduğu görülmüştür.

Balıkesir ilinde ısıtma döneminin soğutma döneminden daha uzun olmasından dolayı tüm yıl yani ısıtma ve soğutma dönemi birlikte düşünüldüğünde dış duvar yüzeyine metal siyah kaplama daha uygun olacağı görülmektedir. Isıtma döneminde doğal gaz enerji kaynağı kullanılması enerji tüketimi açısından daha tasarruflu olacağı anlaşılmaktadır.

## 5. Kaynaklar

- Aldaftari, H. A., Okajima, J., Komiyama, A., Maruyama, S. (2019). Radiative control through greenhouse covering materials using pigmented coatings, *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*, 231, 29-36.  
doi.org/10.1016/j.jqsrt.2019.04.009
- Algarni, S. (2019). Potential for cooling load reduction in residential buildings using cool roofs in the harsh climate of Saudi Arabia, *Energy and Environment*, 30, 2, 235-253.  
doi.org/10.1177/0958305X1878734
- Al-Naghi, A. A. A., Rahman, M. K., Al-Amoudi, O. S. B., Al-Dulaijan, S. U. (2020). Thermal performance evaluation of walls with aac blocks, insulating plaster, and reflective coating, *Journal Energy Engineering*, 146, 2.  
doi.org/10.1061/(ASCE)EY.1943-7897.0000636
- Alrwashdeh, S. S., Qadourah, J. A., Al-Falahat, A. M. (2022). Investigation of the effect of roof color on the energy use of a selected house in Amman, Jordan, *Frontiers in Mechanical Engineering*, 8, 97170.  
doi.org/10.3389/fmech.2022.897170
- Asan, H. (2000). Investigation of wall's optimum insulation position from maximum time lag and minimum decrement factor point of view, *Energy and Buildings*, 32, 197-203.  
doi.org/10.1016/S0378-7788(00)00044-X
- Asan, H. (2006). Numerical computation of time lags and decrement factors for different building materials, *Building and Environment*, 41, 615-620.  
doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.02.020
- Ascione, F., Bellia, L., Mazzei, P., Minichiello, F. (2010). Solar gain and building envelope: the surface factor, *Building Research and Information*, 38, 2, 187-205.  
doi.org/10.1080/09613210903529118
- Ascione, F., Bianco, N., Mauro, G. M., Napolitano, D. F. (2019). Retrofit of villas on Mediterranean coastlines: Pareto optimization with a view to energy-efficiency and cost-effectiveness, *Applied Energy*, 254, 113705.  
https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113705
- Chen, X.; Zhu, S.; Chen, T. (2022). Thermal parameters calibration and energy-saving evaluation of spectral selective absorption film coated glazing system based on heat transfer simulation, *Energies*, 15, 2780.  
doi.org/10.3390/en15082780
- Çengel, Y. A. (2011). *Isı ve kütle transferi pratik bir yaklaşım*, (1. Cilt), Izmir, Turkey.
- Dehwah, A. H.A., Krarti, M. (2020). Impact of switchable roof insulation on energy performance of US residential buildings, *Building and Environment*, 177, 106882.  
doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106882
- Evangelisti, L.; Guattari, C.; Asdrubali, F. (2019). On the sky temperature models and their influence on buildings energy performance: A critical review, *Energy and Buildings* 183, 607-662.  
doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.11.037
- Fabiani, C., Pisello, A.L., Bou-Zeid, E., Yang, J., Cotana, F. (2019). Adaptive measures for mitigating urban heat islands: The potential of thermochromic materials to control roofing energy balance, *Applied Energy*, 247, 155-170.  
doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.04.020
- Fabiani, C., Castaldo, V.L., Pisello, A.L. (2020). Thermochromic materials for

- indoor thermal comfort improvement: Finite difference modeling and validation in a real case-study building, *Applied Energy*, 262, 114147.  
doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114147
- Fathipour, R., Hadidi A. (2017). Analytical solution for the study of time lag and decrement factor for building walls in climate of Iran, *Energy*, 134, 167-180.  
doi.org/10.1016/j.energy.2017.06.009
- Gupta, V., Deb, C. (2022). Energy retrofit analysis for an educational building in Mumbai, *Sustainable Futures*, 4, 100096.  
doi.org/10.1016/j.sfr.2022.100096
- Gong G., Zeng W., Chang S., He J., Li K. (2007). Scheme-selection optimization of cooling and heating sources based on exergy analysis, *Applied Thermal Engineering*, 27, 942-950.  
doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2006.08.011
- Hepbaşlı, A., Özcan, H. G., Günerhan, H., Yıldırım, N. (2019). Binaların ekserji bazlı termodinamik analizleri ve değerlendirmeleri, 14. *Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 17-20 Nisan, İzmir, Türkiye.
- Hua, J., Yu, X. (2019). Thermo and light-responsive building envelope: Energy analysis under different climate conditions, *Solar Energy*, 193, 866-877.  
doi.org/10.1016/j.solener.2019.10.021
- Jin, X., Zhang, X., Cao, Y., Wang G. (2012). Thermal performance evaluation of the wall using heat flux time lag and decrement factor, *Energy and Buildings*, 47, 369-374.  
doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.12.010
- Karakaşlı, E. (2012). *Değişik iklim bölgelerindeki binaların performansının ekserjetik açıdan değerlendirilmesi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Elâzığ, Türkiye.
- Khahir, S., Vakilinezhad, R.. (2022). Energy and thermal analysis of DSF in the retrofit design of office buildings in hot climates, *Architectural Engineering and Design Management*, 19, 6, 1-23.  
doi.org/10.1080/17452007.2022.2147898
- Kılıçlı A. (2018). *Ege üniversitesi bünyesindeki mevcut bir binanın enerji-ekserji analizi ve iyileştirme önerileri*, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Güneş Enerjisi Anabilim Dalı, İzmir, Türkiye.
- Kon, O. (2018). Binalarda ekonomik optimizasyon kullanılarak dış duvar ve pencerelere bağlı yakıt Tüketimi ve emisyon hesabı, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 33, 1, 101-113.  
doi.org/10.17341/gazimmfd.406783
- Kon, O., Caner, İ. (2022a). Benefiting from solar energy due to different emissivity levels of multiple glasswindows for buildings, *Niğde Ömer Halisdemir University (NOHU) Journal of Engineering Sciences*, 11, 3, 781 – 796.  
doi.org/10.28948/ngumuh.1091332
- Kon, O., Caner, İ. (2022b). The effect of external wall insulation on mold and moisture on the buildings, *Buildings*, 12, 5, 521.  
doi.org/10.3390/buildings12050521
- Kontoleon, K., J., Eumorfopoulou, E., A. (2008). The influence of wall orientation and exterior surface solar absorptivity on time lag and decrement factor in the Greek region, *Renewable Energy*, 33, 1652-1664.  
doi.org/10.1016/j.renene.2007.09.008
- Liu, H., Wang, F., Lei, S., Ou, J., Li, W. (2021). Large-area fabrication of colorful superhydrophobic coatings with high solar reflectivity, *Construction and Building Materials*, 304, 124602.  
doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124602
- Maduru, V. R., Shaik, S., Cuce, E., Afzal, A., Panchal, H., Cuce, P. M. (2022). UV coated acrylics as a substitute for generic glazing in buildings of Indian climatic conditions: Prospective for energy savings, CO<sub>2</sub>

- abatement, and visual acceptability, *Energy and Buildings*, 268, 112231.  
doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112231
- Martínez-García, C., Fonteboa, B. G., Carro-Lopez, D., P'erez-Ordo'nez, J. L., (2021). Assessment of mussel shells building solutions: A real-scale application, *Journal of Building Engineering*, 44, 102635.  
doi.org/10.1016/j.job.2021.102635
- Mavromatidis, E., Mankibi, M., E., Mat, P., M. (2012). Santamouris Numerical estimation of time lags and decrement factors for wall complexes including Multilayer Thermal Insulation, in two different climatic zones Lazaros, *Applied Energy*, 92, 480-491.  
doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.10.007
- Montes, F. F., Córdoba, P. F., Calvet, J. L. H., Conejero, J. A., Poza-Luján, J. L., (2020). A system to monitor and model the thermal isolation of coating compounds applied to closed spaces, *Thermal Science*, 24, 3A, 1885-1892.  
doi.org/10.2298/TSCI190525077M
- Ozel, M. (2013). Thermal, conomical and environmental analysis of insulated building walls in a cold climate. *Energy Conversion and Management*, 76, 674-684.  
doi.org/10.1016/j.enconman.2013.08.013
- Özel, M., Pıhtılı, K. (2006). Bina dış yüzeylerinin güneş ışınımını yutma oranlarının ısı akısı açısından araştırılması, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12, 2, 167-171.
- Peng, Y., Fan, L., Jin, W., Ye, Y., Huang, Z., Zhai, S., Luo, X., Ma, Y., Tang, J., Zhou, J., Greenburg, L. C., Majumdar, A., Fan, S., Cui, Y. (2022). Coloured low-emissivity films for building envelopes for year-round energy savings, *Nature Sustainability*, 5, 339-347.  
doi.org/10.1038/s41893-021-00836-x
- Qiu, Z., Wang, J., Yu, B., Liao, L., Li, J. (2021). Identification of passive solar design determinants in office building envelopes in hot and humid climates using data mining techniques, *Building and Environment*, 196, 107566.  
doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107566
- Rossi, S., Calovi, M., Dalpiaz, D., Fedel, M. (2020). The Influence of NIR pigments on coil coatings thermal behaviors, *Coatings*, 10, 514.  
doi.org/10.3390/coatings10060514
- Shukuya, M. (2019). Exergetic approach to the understanding of built environment—state-of-the-art review, *Japan Architectural Review*, 2, 143-152.  
doi.org/10.1002/2475-8876.12082
- Somasundaram, S., Raj, Thangavelu, S., Chong, A. (2020). Improving building efficiency using low-e coating based retrofit double glazing with solar films, *Applied Thermal Engineering*, 171, 115064.  
https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.115064
- Türk Standartları Enstitüsü. (2013). TS 825: *Binalarda Isı Yalıtım Kuralları*, Türk Standardı.
- Ulaş, A. (2010). *Binalarda TS 825 hesap yöntemine göre ısı kaybı, yakıt tüketimi, karbondioksit emisyonu hesabı ve maliyet analizi*, , Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Ankara, Türkiye.
- Wardi, F. Z., Khabbazi, A., Cherki, A. B., Khaldoun, A. (2020). Thermomechanical study of a sandwich material with ecological additives, *Construction and Building Materials*, 252, 119093.  
doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119093
- Xie, N., Li, H., Abdelhady, A., Harvey, J. (2019). Laboratorial investigation on optical and thermal properties of cool pavement nano-coatings for urban heat island mitigation, *Building and Environment*, 147, 231-240.  
doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.10.017
- Yıldırım, E. (2015). *Bina dış duvar yalıtımının enerji ve ekserji analizi yöntemiyle optimize edilmesi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri

- Enstitüsü Güneş Enerjisi Anabilim Dalı,  
İzmir, Türkiye.
- Yıldırım, M., Oktay, H., Yumrutaş, R. (2018). Bina duvarlarının termofiziksel özellikleri arasındaki ilişkileri ile bu özelliklerin dinamik ısı karakterlerine etkilerinin araştırılması, *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22, 2, 872-880.  
doi: 10.19113/sdufbed.07639
- Yuxuan, Z., Yunyun, Z., Jianrong, Y., Xiaoqiang, Z., (2020). Energy saving performance of thermochromic coatings with different colors for buildings, *Energy and Buildings*, 215, 109920.
- Zhang, Y., Zhai, X., (2019). Preparation and testing of thermochromic coatings for buildings, *Solar Energy*, 191, 540-548.  
doi.org/10.1016/j.solener.2019.09.042
- Zhang, Y., Long, E., Li, Y., Li, P. (2017). Solar radiation reflective coating material on building envelopes: Heat transfer analysis and cooling energy saving, *Energy Exploration and Exploitation*, 35, 6, 748-766.  
doi.org/10.1177/0144598717716285
- Zhu, S., Mai, X., (2019). A review of using reflective pavement materials as mitigation tactics to counter the effects of urban heat island, *Advanced Composites and Hybrid Materials*, 2, 381-388.  
doi.org/10.1007/s42114-019-00104-9