



T. C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
ORTAK YÜKSEK LİSANS PROGRAMI



**TEK KULLANIMLIK İŞ GÜVENLİĞİ DONANIMLARININ BETON
İÇERİSİNDE DEĞERLENDİRİLEREK, OLUŞTURULAN BETON NUMUNENİN
TERMAL VE DAYANIM ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Ashhan YILMAZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
Doç. Dr. Gökhan KAHRAMAN**

TUNCELİ - 2024

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**TEK KULLANIMLIK İŞ GÜVENLİĞİ DONANIMLARININ BETON
İÇERİSİNDE DEĞERLENDİRİLEREK, OLUŞTURULAN BETON NUMUNENİN
TERMAL VE DAYANIM ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Aslıhan YILMAZ
(190020013)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
Doç. Dr. Gökhan KAHRAMAN

TUNCELİ - 2024

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**TEK KULLANIMLIK İŞ GÜVENLİĞİ DONANIMLARININ BETON
İÇERİSİNDE DEĞERLENDİRİLEREK, OLUŞTURULAN BETON NUMUNENİN
TERMAL VE DAYANIM ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Ashhan YILMAZ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 03/01/2024 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

İmza:
Prof. Dr.
Nevin ÇELİK
(Fırat Üniversitesi)
BAŞKAN

İmza:
Doç. Dr.
Gökhan KAHRAMAN
(Munzur Üniversitesi)
DANIŞMAN

İmza:
Dr. Öğr. Üyesi
Erdem IŞIK
(Munzur Üniversitesi)
ÜYE

Doç. Dr. Murat KORUNUR
Enstitü Müdürü

NOT: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı “Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu”ndaki hükümlere tabidir.

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Aslıhan YILMAZ

Danışman
Doç. Dr. Gökhan KAHRAMAN

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans Tezi hazırlık aşamasında ve sonraki süreçlerde; desteğini, bilgilerini ve birikimlerini benden esirgemeyen, her daim yanımda olup motive eden, yol gösteren ve asla yalnız bırakmayan sevgili hocam Doç. Dr. Gökhan KAHRAMAN'a, Malatya İnönü Üniversitesi, Malatya OSB Meslek Yüksekokulu'nda görev yapan ve tezimde bulunan beton/şap numunelerinin hesap yöntemlerinde yol gösteren sevgili hocam Öğr. Gör. Alper Tunga ÖZGÜLER'e, İzmir Büyükşehir Belediyesi, Kentsel Dönüşüm Dairesi Başkanlığı, Proje Uygulama-2 Şube Müdürlüğü'nde çalışan ve numune yapım süreçlerinde bana yardımcı olan iş arkadaşlarıma ve idarecilerime, hayatım boyunca destekçim olan sevgili aileme şükranlarımı iletiyor, bugüne kadar mesleki ve insani olarak bu konumda olmamı sağlayan, sabır, merhamet ve vicdanını esirgemeyen, yol gösterici olan tüm hocalarıma ve aileme teşekkür ediyorum.

Ashhan YILMAZ
TUNCELİ- 2024



İÇİNDEKİLER

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	I
TEŞEKKÜR.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ŞEKİLLER LİSTESİ	IV
TABLolar LİSTESİ	V
RESİMLER LİSTESİ	VII
SEMBOLLER LİSTESİ	VIII
KISALTMALAR LİSTESİ	IX
ÖZET	X
ABSTRACT	XII
1. GİRİŞ.....	1
2. MATERYAL VE METOT	15
2.1. Hesap Yöntemi	28
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	51
4. SONUÇ VE ÖNERİLER	63
5. KAYNAKLAR.....	65

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Binaların farklı bölümlerinde oluşan ısı kayıpları	4
Şekil 1.2. Çimento üretiminden kaynaklı CO ₂ salınımı	7
Şekil 2.1. Çalışmada izlenen yolun şematik gösterimi.....	25
Şekil 2.2. Betonarme duvar bileşenleri ve kalınlıkları	26
Şekil 2.3. Taban bileşenleri ve kalınlıkları.....	26
Şekil 2.4. Bir duvar sistemindeki ısı enerji analizi.....	28
Şekil 2.5. Termodinamiğin 1. Kanunu'na göre enerji dengesi.....	28
Şekil 2.6. Isı akışı	30
Şekil 2.7. Elektrik akışı	30
Şekil 2.8. Duvar bileşenlerinde oluşan ısı direncin şematik gösterimi	31
Şekil 3.1. Kulak tıkaçı malzemesinin beton içerisindeki karışım oranına göre ısı iletim katsayısı değerleri	51
Şekil 3.2. Kulak tıkaçı malzemesinin beton içerisindeki karışım oranına göre ısı iletim katsayısı ve beton basınç dayanımı değerlerinin değişimi	52
Şekil 3.3. Kulak tıkaçı malzemesinin şap içerisindeki karışım oranına göre ısı iletim katsayısı değerleri	53
Şekil 3.4. Betonarme duvar bileşenlerinin yüzey sıcaklıkları	54
Şekil 3.5. Kulak tıkaçı kullanılan beton numunelerin yüzey sıcaklığı değerleri.....	55
Şekil 3.6. Taban bileşenlerinin yüzey sıcaklıkları.....	56
Şekil 3.7. Kulak tıkaçı kullanılan şap numunelerinin yüzey sıcaklığı değerleri	56
Şekil 3.8. Beton numunelerin toplam ısı transfer katsayısı değerleri.....	57
Şekil 3.9. Şap numunelerinin toplam ısı transfer katsayısı değerleri	58
Şekil 3.10. Beton numunelerinde kulak tıkaçı oranına göre ısı akısı	59
Şekil 3.11. Şap numunelerindeki kulak tıkaçı oranına göre ısı akısı	60
Şekil 3.12. Şap kontrol numunesi sabit tutularak beton numunelerin hesap yöntemine dahil edilmesiyle elde edilen Yıllık Enerji İhtiyacı (MJ)	61
Şekil 3.13. Beton kontrol numunesi sabit tutularak şap numunelerinin hesap yöntemine dahil edilmesiyle elde edilen Yıllık Enerji İhtiyacı (MJ)	61
Şekil 3.14. %20 kulak tıkaçı katkılı beton ve %75 kulak tıkaçı katkılı şap numunesinin hesap yöntemine dahil edilmesiyle elde edilen Yıllık Enerji İhtiyacı (MJ)	62

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Kulak tıkacı hammaddesinin özellikleri (URL-10, 2023).....	16
Tablo 2.2. Seza Çimento Fabrikası'na ait CEM I 42,5 R çimentosunun özellikleri	17
Tablo 2.3. Agregası yüzdesel olarak kulak tıkacıyla değiştirilmiş numunelerin içerik oranları	17
Tablo 2.4. Beton kontrol numunesi ve agregası değiştirilen beton numunelerin basınç dayanımları (N/mm ²) ve dayanım azalma oranları (%).....	20
Tablo 2.5. Beton numunelerin ısı iletim katsayıları.....	21
Tablo 2.6. İzmir Çimento Fabrikası Türk. A.Ş. fabrikasına ait CEM I 42,5 R çimentosunun özellikleri (URL-11, 2023)	22
Tablo 2.7. Agregası yüzdesel olarak kulak tıkacı ile değiştirilmiş şap numunelerinin içerik oranları.....	22
Tablo 2.8. Şap numunelerinin ısı iletim katsayıları	25
Tablo 2.9. Enerji hesabı için örnek olarak alınan binanın ölçüleri	32
Tablo 2.10. Beton kontrol ve şap kontrol numunesi değerleri ile binanın özgül ısı kaybı .	33
Tablo 2.11. Beton kontrol ve şap kontrol numunesi değerleri ile binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı	34
Tablo 2.12. %5 agregası kulak tıkacı ile değiştirilmiş beton ve şap kontrol numunesi değerleri ile binanın özgül ısı kaybı.....	35
Tablo 2.13. %5 agregası kulak tıkacı ile değiştirilmiş beton ve şap kontrol numunesi değerleri ile binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı	36
Tablo 2.14. %10 agregası kulak tıkacı ile değiştirilmiş beton ve şap kontrol numunesi değerleri ile binanın özgül ısı kaybı.....	37
Tablo 2.15. %10 agregası kulak tıkacı ile değiştirilmiş beton ve şap kontrol numunesi değerleri ile binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı	38
Tablo 2.16. %15 agregası kulak tıkacı ile değiştirilmiş beton ve şap kontrol numunesi değerleri ile binanın özgül ısı kaybı.....	39
Tablo 2.17. %15 agregası kulak tıkacı ile değiştirilmiş beton ve şap kontrol numunesi değerleri ile binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı	40
Tablo 2.18. %20 agregası kulak tıkacı ile değiştirilmiş beton ve şap kontrol numunesi değerleri ile binanın özgül ısı kaybı.....	41
Tablo 2.19. %20 agregası kulak tıkacı ile değiştirilmiş beton ve şap kontrol numunesi değerleri ile binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı	42
Tablo 2.20. %25 agregası kulak tıkacı ile değiştirilmiş şap ve beton kontrol numunesi değerleri ile binanın özgül ısı kaybı.....	43
Tablo 2.21. %25 agregası kulak tıkacı ile değiştirilmiş şap ve beton kontrol numunesi değerleri ile binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı	44
Tablo 2.22. %50 agregası kulak tıkacı ile değiştirilmiş şap ve beton kontrol numunesi değerleri ile binanın özgül ısı kaybı.....	45
Tablo 2.23. %50 agregası kulak tıkacı ile değiştirilmiş şap ve beton kontrol numunesi değerleri ile binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı	46
Tablo 2.24. %75 agregası kulak tıkacı ile değiştirilmiş şap ve beton kontrol numunesi değerleri ile binanın özgül ısı kaybı.....	47
Tablo 2.25. %75 agregası tıkaç ile değiştirilmiş şap ve beton kontrol numunesi değerleri ile binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı	48
Tablo 2.26. %20 agregası tıkaçla değiştirilmiş beton numunesi ve %75 agregası tıkaçla değiştirilmiş şap numunesi değerleri ile binanın özgül ısı kaybı.....	49

Tablo 2.27. %20 agregası tıkaçla değiştirilmiş beton numunesi ve %75 agregası tıkaçla değiştirilmiş şap numunesi değerleri ile binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyaı	50
Tablo 3.1. Beton sınıfları ve dayanımları (URL-12, 2023)	53
Tablo 3.2. Beton numunelerin U değerleri	57
Tablo 3.3. şap numunelerinin U değerleri.....	58
Tablo 3.4. Beton numunelerin ısı akısı (q) değerleri	59
Tablo 3.5. şap numunelerin ısı akısı (q) değerleri.....	60



RESİMLER LİSTESİ

Resim 2.1. Kulak tıkacı hammaddesi (Poliolefin bazlı termoplastik elastomer (SEBS))...	15
Resim 2.2. Beton numunenin kalıp içerisinde görünümü	18
Resim 2.3. Beton numune	18
Resim 2.4. Isıl iletkenlik katsayısı ve basınç dayanım testleri için dökülen beton numuneler	19
Resim 2.5. Otomatik basınç dayanım deney presi (UTC-4231)	19
Resim 2.6. QTM 500 Isıl İletkenlik Ölçüm Cihazı	20
Resim 2.7. Beton numunenin QTM 500 cihazı ile ısı iletkenlik değeri nin ölçümü	21
Resim 2.8. Beton kalıbı ve ölçüm yapılan hassas terazi	23
Resim 2.9. Şap numunelerinin karıştırıldığı kap	23
Resim 2.10. Karıştırılan şap numunesinin kalıba dökülmüş hali	24
Resim 2.11. Oluşturulan numunelerin 28 gün bekletildiği kap	24

SEMBOLLER LİSTESİ

U	: Bina zarfının ısı geçirgenliği (W/m^2K)
k	: Isıl iletkenlik sayısı (W/mK)
μ	: Su buharı difüzyon direnç faktörü
h	: Isı taşınım katsayısı (W/m^2K)
d_1, d_2	: Bileşeni oluşturan katman kalınlığı (metre)
k_1, k_2	: Isı iletim katsayısı (W/mK)
A	: Alan (m^2)
L	: Duvar kalınlığı (m)
T_1	: İç Sıcaklık
T_2	: Dış sıcaklık
ΔT	: Sıcaklık farkı
Q_{iletim}	: İletim ile ısı geçişi
$Q_{taşınım}$	: Taşınım ile ısı geçişi
$Q_{ışınım}$	: Işınım ile ısı geçişi
T_s	: Yüzey Sıcaklığı (K)
T_∞	: Yüzeyden uzaklıktaki sıcaklık (K)
E_c	: Beton elastisite modülü
f_{ck}	: Beton karakteristik basınç dayanımı
f_{ctk}	: Beton karakteristik eksenel çekme dayanımı
R_{iletim}	: Isı iletim direnci ($^{\circ}C/W$)
$R_{taşınım}$	: Isı taşınım direnci ($^{\circ}C/W$)

KISALTMALAR LİSTESİ

GSYİH	: Gayri Safi Yurt İçi Hasıla
GİZ	: Alman Uluslararası İş Birliği Kurumu
TS	: Türk Standardı
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
EU	: Avrupa Birliği Direktifi
CE	: Avrupa Uygunluğu Belgesi
EPBD	: Binaların Enerji Performansı Direktifi
ISO	: International Organization for Standardization
UNEP	: Birleşmiş Milletler Çevre Programı
EPS	: Ekspande Polistiren
XPS	: Ekstrüde Polistiren
IHVİ	: Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme
PET	: Polietilen tereftalat (Termoplastik polimer reçine)
TPK	: Thermal insulation with recycled material (Uzun ömürlü ambalaj)
RMS	: Marshall stabilitesi
FVSA	: İnce volkanik cüruf agregası
CVSA	: Volkanik cüruf agregası
VSALC	: Volkanik cüruf agregalı hafif beton
SEM	: Taramalı elektron mikroskopu
FTIR	: Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
MWS	: Mermer atıkları
EPA	: Genleştirilmiş perlit agregası
CWP	: Seramik atık tozu
LSP	: Kireç taşı tozu
PP	: Polipropilen
LDPE	: Düşük yoğunluklu polietilen
HDPE	: Yüksek yoğunluklu polietilen
KKD	: Kişisel Koruyucu Donanım
LCA	: Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi
LCC	: Yaşam Döngüsü Maliyeti
nSEB	: Neredeyse Sıfır Enerjili Binalar
CO₂	: Karbondioksit
SEBS	: Poliolefin bazı termoplastik elastomer
MJ	: Mega joule

ÖZET

Dünyayı saran COVID-19 pandemisinin ardından, tek kullanımlık malzemelerin (maske, eldiven, vb.) geri dönüşümünün sağlanmasının ve yeniden üretim alanına girmesi gerektiğinin farkına varıldı. Bu fikirle yola çıkarak yalnızca tıbbi atık olan tek kullanımlık materyallerin değil, özellikle iş güvenliği alanında kullanılan tek kullanımlık materyallerin de yeniden değerlendirilmesi gerektiği fikri bilim insanlarını bu konuda araştırma yapmaya sevk etmektedir.

Bilindiği gibi, ülkemizde ve dünyada CO₂ (Karbondiyoksit) salınımının yüksek bir miktarına inşaat faaliyetleri sebep olmaktadır. Yapılan bazı çalışmalarda, inşaat faaliyetleri sırasında kullanılan çimento üretimi sebebiyle açığa çıkan CO₂ oranını azaltmak için, beton içerisine, betonun mekanik özelliklerini iyileştiren malzemeler konulmuş ve ölçümleri yapılmıştır.

Bu çalışmada, beton ve şapta kullanılan agrega miktarını belirli oranlarda azaltarak, azaltılan agrega yerine iş güvenliği ekipmanlarından olan kulak tıkacının hammaddesi (Poliolefin bazlı termoplastik elastomer (SEBS)) eklenmiştir. Beton numunesi ve şap numunesi olarak gruplandırılan numunelerin ısı iletkenlik değerleri ve beton numunelerin dayanımları ölçülmüştür. 15x15x15 cm'lik beton kalıplarında sırasıyla %5, %10, %15 ve %20 oranlarında agrega azaltılmış ve yerine tek kullanımlık iş güvenliği ekipmanlarından olan kulak tıkacının ham maddesi eklenerek 4 adet numune elde edilmiştir. Ayrıca 15x15x15 cm'lik beton kalıplarında %25, %50 ve %75 oranlarında agrega azaltılmış, yerine kulak tıkacının hammaddesi kullanarak 3 adet şap numunesi elde edilmiştir. Beton ve şap numunelerinin karşılaştırılması için ise birer adet beton ve şap kontrol numunesi yapılmıştır. Beton numunelerin ısı iletkenlik ve dayanım ölçümleri, şap numunelerinin ise ısı iletkenlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Beton kontrol ve şap kontrol numuneleri ile yüzdeleri farklı olan numuneler karşılaştırıldığında; malzemelerin ısı iletim katsayılarında düşüş gözlemlenmiştir. Ayrıca beton numunelerde yapılan dayanım testlerinde, beton kontrol numunesinin basınç dayanımı 50,75 N/mm² ölçülürken, %20 agregası kulak tıkacı ile değiştirilmiş numunenin basınç dayanımı ise 30,04 N/mm² olarak ölçülmüştür.

Çalışmanın devamında elde edilen numunelerin ısı iletkenlik değerleri kullanılarak yapılan hesaplamalarda, beton ve şap kontrol numunesinin kullanıldığı 2 katlı bir bina ile %20 agregası kulak tıkacı ile değiştirilmiş beton ve %75 agregası kulak tıkacı ile değiştirilmiş şap numunesinin kullanıldığı 2 katlı bir bina enerji tasarrufu yönünden karşılaştırılmıştır. Kulak tıkacı katkılı malzemelerin kullanıldığı binada yaklaşık 288,03 MJ'lük bir ısı enerjisi tasarrufunun sağlandığı görülmüştür. Hesap yapılan binanın 495 m³ brüt hacmine karşılık 288,03 MJ'lük ısı tasarrufu miktarı, daha yüksek katlı ve yüksek hacimli binalarda artacaktır.

Ayrıca, %20 oranında agregası kulak tıkacı ile değiştirilmiş beton numunesinin ölçülen dayanım değerinin TS 500 Standardı'nda belirtilen değerlere göre C30 beton sınıfına denk geldiği görülmüştür. Bu dayanım sınıfı, günümüzde yapılan binaların dayanım sınıfına eşdeğerdir. Bununla birlikte, bu çalışmada incelenen ısı değerlerin ve dayanımın yanı sıra, kulak tıkacının kullanım amacını da birlikte değerlendirirsek, şap içerisinde kulak tıkacı katkısının kullanımı, katlar arasında oluşabilecek gürültüye karşı izolasyonu sağlayacak ve daha konforlu bir yaşam alanı sunmaya yardımcı olacaktır.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlara dayanarak, kulak tıkacının beton ve şap içerisinde kullanımı ısı iletkenlik özellikleri açısından binalarda ısı direnci artırdığı tespit edilmiştir. Bu durum kayda değer bir enerji tasarrufu sağlayarak hem ülkemizin enerjide dışa bağımlılığını azaltacak hem de karbon salınımı miktarlarını düşürecektir. Ayrıca bu çalışma, tek kullanımlık iş güvenliği malzemelerinin beton ve şap içerisinde değerlendirilmesi sebebiyle de sürdürülebilir bir çevreye katkıda bulunmaktadır.

Anahtar kelimeler: Beton, Şap, Termal analiz, Basınç dayanımı, Geri dönüşüm, Enerji tasarrufu.



ABSTRACT

Investigation of Thermal Values and Strength Properties of Concrete Sample Created by Evaluating Disposable Safety Equipment in Concrete

Following the COVID-19 pandemic that surrounded the world, it was realized that disposable materials (masks, gloves, etc.) should be recycled and re-entered the field of production. Based on this idea, the idea that not only disposable materials, which are medical waste, but also disposable materials used especially in the field of occupational safety, should be re-evaluated prompts scientists to conduct research on this subject.

As it is known, construction activities cause a high amount of CO₂ (Carbon Dioxide) emissions in our country and in the world. In some studies, in order to reduce the amount of CO₂ released due to cement production used during construction activities, materials that improve the mechanical properties of concrete were placed in the concrete and measurements were made.

In this study, by reducing the amount of aggregate used in concrete and screed at certain rates, the raw material of earplugs (Polyolefin-based thermoplastic elastomer (SEBS)), which is one of the occupational safety equipment, was added instead of the reduced aggregate. The thermal conductivity values of the samples grouped as concrete samples and screed samples and the strengths of the concrete samples were measured. Aggregate was reduced by 5%, 10%, 15% and 20% in 15x15x15 cm concrete molds, respectively, and 4 samples were obtained by adding the raw material of earplugs, which are disposable work safety equipment, instead. In addition, aggregate was reduced by 25%, 50% and 75% in 15x15x15 cm concrete molds, and 3 screed samples were obtained by using the raw material of earplugs instead. To compare the concrete and screed samples, one concrete and screed control sample was made. Thermal conductivity and strength measurements of concrete samples and thermal conductivity measurements of screed samples were carried out.

When the concrete control and screed control samples are compared with the samples with different percentages; A decrease in the heat conduction coefficients of the materials was observed. In addition, in the strength tests performed on concrete samples, the compressive strength of the concrete control sample was measured as 50.75 N/mm², while the compressive strength of the sample with 20% aggregate replaced with earplugs was measured as 30.04 N/mm².

In the calculations made using the thermal conductivity values of the samples obtained later in the study, a 2-storey building in which concrete and screed control sample was used was compared with a 2-storey building in which 20% aggregate was replaced with earplugs and 75% aggregate was replaced with earplug screed sample in terms of energy saving. . It was observed that approximately 288.03 MJ of heat energy was saved in the building where earplug-added materials were used. The heat saving amount of 288.03 MJ, corresponding to the 495 m³ gross volume of the calculated building, will increase in higher-rise and higher-volume buildings.

In addition, it was observed that the measured strength value of the concrete sample, whose 20% aggregate was replaced with earplugs, corresponded to the C30 concrete class according to the values specified in the TS 500 Standard. This strength class is equivalent to the strength class of buildings constructed today. However, if we consider the thermal values and strength examined in this study as well as the purpose of use of the earplug, the use of

earplug additive in the screed will provide insulation against the noise that may occur between floors and help provide a more comfortable living space.

Based on the results obtained in this study, it has been determined that the use of earplugs in concrete and screed increases the thermal resistance in buildings in terms of thermal conductivity properties. This will provide significant energy savings, reducing our country's dependence on foreign energy and reducing carbon emissions. In addition, this study contributes to a sustainable environment by using disposable occupational safety materials in concrete and screed.

Keywords: Concrete, Screed, Thermal analysis, Compressive strength, Recycling, Energy saving.



1. GİRİŞ

Günümüzde toplumların en önemli amaçlarından biri olan sürdürülebilir çevre yaklaşımı, sürdürülebilir enerji kavramının güncel hale gelmesini sağlamıştır. Sürdürülebilir enerji, gereksinim duyulan enerji miktarının mümkün olduğu kadar düşük maliyetlerle sürdürülebilir bir şekilde sağlanabilmesi için kullanılacak teknolojik yöntemlerin tümü olarak tanımlanabilir. Sektörel olarak enerji, ülke kalkınmasında ilk girdilerden biri olduğundan, sürdürülebilir enerji, sürdürülebilir kalkınmanın temel öğelerinden birisidir. Sürdürülebilir enerjinin temel ilkeleri olarak; enerjinin verimli ve etkin kullanılarak enerji tasarrufunun en üst düzeyde sağlanıyor olması, enerjinin üretimi ve tüketimi sonucunda çevreye olan kirliliğinin ve oluşabilecek diğer olumsuzlukların maksimum düzeyde giderilmesi, çevreyi kirletmeyen, kullanım olarak çevreye duyarlı, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması, bu kaynaklara ilişkin teknolojilerin ilerletilerek, potansiyel kaynaklardan faydalanmanın yaygın hale getirilmesi olarak ifade edilebilir.

Dünyada ve ülkemizde nüfusun sürekli olarak artması ve teknolojinin daha da ilerlemesi ile enerjiye olan gereksinim de orantılı olarak artmaktadır. Buna karşılık birincil enerji kaynakları rezervleri giderek tükenmektedir. Bu durumlardan kaynaklı olarak, enerji konusunda çözüm önerileri hem gelişim gösteren ülkelerde hem de gelişmiş ülkelerin sıklıkla gündemindedir.

Günümüzde dünya ülkelerinin ilerleme düzeyine bağlı ve paralel olarak, mevcut enerjiyi verimli ve olabildiğince etkin kullanma fikirleri de aynı oranlarda gelişmektedir. Teknolojik gelişmeler dünyada ilerledikçe enerji ihtiyacında bir artış gözlemlenmiş ve bu ihtiyacın yüksek bir miktarını karşılayan fosil yakıtların azalması, günümüzde enerjinin korunumu ve enerjinin verimliliği üzerine çalışmaların yapılmasına hız kazandırmıştır. Yenilenebilir ve yeşil enerji kaynaklarının kullanımına yönelik teknolojik ilerlemeler kaydedilirken aynı zamanda da enerjinin verimli kullanımının da sağlanarak, enerji tüketimini olabildiğince azaltacak yöntemler de araştırılmaya başlanmıştır.

2021 yılında dünyada binalar ve inşaat sektörü, enerji tüketimi ve CO₂ emisyonunun yaklaşık %37'sini ve küresel enerji talebinin %34'ünden fazlasını oluşturmuştur. Binaların yapımında kullanılan malzemelerin (beton, çelik, alüminyum, cam ve tuğla) yaklaşık %9 oranında CO₂ emisyonuna sebep olduğu tahmin edilmektedir. Dünya çapında inşaat, tadilat ve yıkım sebepleriyle yaklaşık 100 milyar ton atık oluştuğu ve bu atıkların yaklaşık %35'inin çöp depolama alanlarına gönderildiği tespit edilmiştir (URL-1, 2023).

Literatürde, enerji kullanımı içerisinde binaların payının Avrupa’da %40 (De Alegria Mancisidor ve ark., 2009), İngiltere’de %50 (Arena ve De Rosa, 2003), Filistin’de %60 dan fazlası olduğu belirtilmektedir. CO₂ salınımında toplam emisyonun %70’inin insani aktivitelerden (UNEP, 2009), Avrupa Birliği ülkelerinde salınımın %40 daha fazlasının ise bina sektöründen (Dimoudi ve Tompa, 2008; Cabeza, 2010) kaynaklandığı belirtilmektedir. Bu yüzden Avrupa Birliği mevzuatına “20-20-20” direktifi eklenmiş ve %20 enerji verimliliği ve %20 CO₂ emisyonlarının azaltılması talimatı verilmiştir (Rodríguez-Soria, 2015).

2000-2020 yılları arasında ülkemizde ihtiyaç duyulan enerjinin dış ülkelere alınma oranı %69,3’ten %77,4’e yükselmiştir. Bu enerjinin de %22,78’i konutlarda kullanılmaktadır (URL-2, 2023). Binanın mimari yapısı, ısı enerjisi kaybını etkileyen kritik bir değişkendir. Genel olarak binalarda ısı kaybının dış duvarlardan, pencerelerden, çatıdan ve bodrum döşemesinden olduğu kabul edilir. Bu durum, konutlar özelinde enerjinin etkin kullanımının önemini arttırmıştır. Ayrıca, binalarda tüketilen bu enerjinin %80’i ısıtma ve soğutma amaçlı kullanılmaktadır (Gürel ve Cingiz, 2011). Enerjinin en çok tüketildiği sektörde (bina sektörü) en fazla enerji iklimlendirme amaçlı kullanıldığından, yalıtımla enerji verimliliğinde yapılacak olan en küçük iyileştirmenin toplam enerji verimliliği ve toplam karbon ayak izi üzerindeki yaygın etkisinin önemli olacağı belirtilmektedir (Gölcü ve ark., 2006).

Binalarda enerji tüketiminin önemli bir bölümü iç çevrede ısı (termal) konfor koşullarının sağlanması için gerek duyulan ısıtma enerjisi gereksinimidir. Mahaller içerisindeki ısıtma enerjisi sistemlerine, mahal/bina dışında bulunan çevrede etki eden iklim faktörlerinin yıl boyunca değişen değerlerine bağlı olarak, yılın belirli dönemlerinde termal konfor açısından gerekli koşulları sağlayabilmek için ihtiyaç duyulmaktadır. Mahal içerisindeki konfor şartları ve enerji ihtiyacına yönelik harcamalar, iç ve dış çevre ortamını ayıran bina yapı elemanlarından geçen ısı miktarlarına göre değişiklik göstermektedir. Dolayısıyla bina kabuğunun ısı kontrollerindeki performans iç çevrede ısı konforunun sağlanmasında önemli bir etkidir.

Binalarda ısı yalıtım gereksinimleri hakkında standart olan Türk Standardı (TS) 825, 1999 yılında çıkarıldıktan sonra 2000 yılında yürürlüğe girmiş olup, 2008 yılında yenilenmiş ve yeniden yayımlanmıştır. İlgili standartta yapılan değişiklikler arasında ısı iletimi katsayılarının iyileştirilmesi ve derece gün bölgeleri başına maksimum enerji tüketimi seviyeleri yer almıştır (URL-3, 2023).

TS 825 Standardı, iklim bölgesine ve bina zarfı bölümüne göre maksimum U (toplam ısı transfer sayısı) değerlerini de belirlemektedir. U değeri, ısıyın yapıdaki (tekil bir materyal veya bir kompozit olabilir) transfer hızının, yapının tamamındaki sıcaklık farkına bölünmesiyle elde edilen ısı geçirgenliğini ifade etmektedir. Ölçü birimi $W/m^2 K$ 'dir. Yapı ne kadar iyi yalıtımlı olursa, U değeri o kadar düşük olacaktır. TS 825 Standardı, iklim bölgelerine göre duvarlar, çatı, döşeme ve pencerelere ilişkin tavsiye edilen U değeri gerekliliklerini tanımlamaktadır (URL-3, 2023).

Ülkemizde, 05/12/2008 tarih ve 27075 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe girmiş olan "Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğı" ile binalarda enerjinin ve enerji kaynaklarının etkin ve verimli kullanılması, enerji israfının önlenmesi ve çevrenin korunması amaçlanmış olup, bu hususlara ilişkin usul ve esaslar düzenlenmiştir (URL-3, 2023).

Bu Yönetmelik ile Enerji Kimlik Belgesi uygulamaya konulmuş olup, Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğı gereğince mevcut ve yeni binalara Enerji Kimlik Belgesi alınması zorunlu kılınmıştır. Enerji Kimlik Belgesi, Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğı kapsamında tanımlanan ve ilgili metodoloji ve yaklaşıma göre binanın enerji tüketiminin ve emisyonunun modellendiğı ve sınıflandırıldığı, mevcut binalar için 2020 yılından itibaren satış ve kiralama işlerinde bulundurulması zorunlu kılınan resmî belgedir. Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğı'ne göre, yeni inşa edilecek binaların enerji performans ve sera gazı emisyon sınıfının en az C sınıfı olması gerekmektedir (URL-3, 2023).

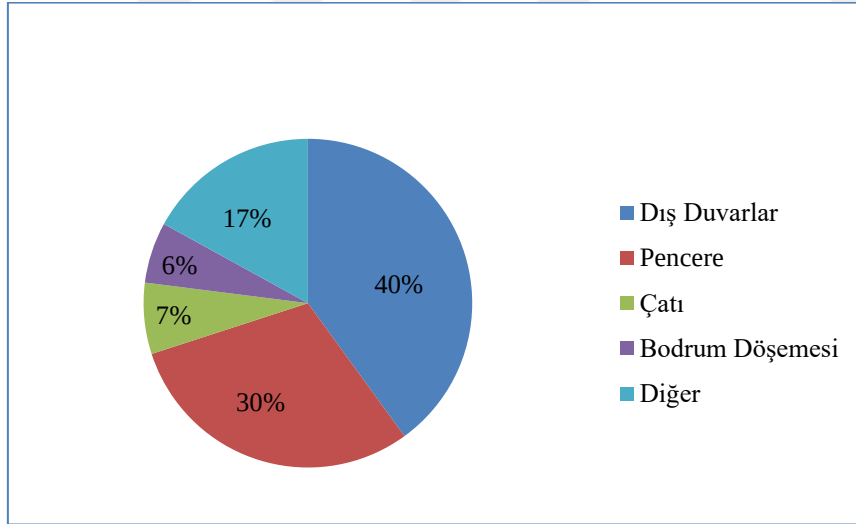
Ayrıca, Türkiye'deki binalarda enerji performansının iyileştirilmesine yönelik politikaları geliştirmek amacıyla, Neredeyse Sıfır Enerjili Binalar (NSEB) uygulaması 19.02.2022 tarih ve 31755 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren "Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğı'nde Değışiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik" ile gündeme gelmiştir. Yönetmelik'te belirtilen "*MADDE 23 – (1) NSEB niteliğindeki binaların Enerji Kimlik Belgesindeki enerji performans sınıfının B veya daha iyi olması ve aynı zamanda binanın birincil enerji ihtiyacının en az %10'u oranında yenilenebilir enerji kullanımına sahip olması zorunludur.*" hükmü eklenmiştir.

Bina yalıtımı, genellikle petrokimyasallardan veya yüksek enerji tüketimiyle elde edilmiş doğal kaynaklardan (cam ve taş yünü) elde edilen malzemeler kullanılarak yapılır. Bu malzemeler, esas olarak üretim aşaması, yani yenilenemeyen malzeme kullanımının olması, fosil enerji tüketiminin aşırıya kaçması ve bertaraf aşamasında yaşanan zorluklar,

yani ürünlerin kullanım ömrünün sonunda yeniden kullanım veya geri dönüşümünde yaşanan sorunlar nedeniyle çevre üzerinde önemli zararlı etkilere neden olmaktadır. Bu hususlar da bina tasarım sürecine “sürdürülebilirlik” kavramının getirilmesini, doğal veya geri dönüştürülmüş malzemeler kullanarak termal ve akustik yalıtım malzemeleri geliştirmeyi amaçlayan araştırmaları teşvik etmiştir.

Ayrıca bina yalıtımında kullanılan inşaat malzemelerinin, özellikle de petrokimyasallardan üretilenlerin, CO₂ emisyonuna yol açtığı bilindiğinden (Park ve ark., 2020; Weihui ve Leyi, 2008) CO₂ gibi sera gazlarının emisyon kontrolü, küresel iklim değişikliğini azaltmak için dünya çapında kaçınılmaz bir konu haline gelmiştir (Edenhofer ve ark., 2011). Doğal malzemelerden üretilen inşaat malzemelerinin kullanımının bu emisyonları azalttığı düşünülmektedir (Allafi ve ark., 2020; Erkmen ve ark., 2020).

Binanın mimari yapısı da ısı enerjisi kaybını etkileyen kritik bir değişendir. Ancak genel olarak binalarda ısı kaybı %40 dış duvar, %30 pencereler, %7 çatı, %6 bodrum döşemesinden olduğu kabul edilir (Aşkadar, 2005; Altınışık,2006). Bu durum konutlarda enerjinin etkin kullanımının önemini artırmıştır. Şekil 1.1’de genel özelliklere sahip bir binanın yapı bileşenlerinden kaybedilen ısı miktarları görülmektedir.



Şekil 1.1. Binaların farklı bölümlerinde oluşan ısı kayıpları

Michigan Üniversitesi yapılarıyla ilgili bir çalışmada, bu yapıların 75 yıllık yaşam döngüsü boyunca birincil enerji yoğunluğu yaklaşık 8700 kWh/m² olarak hesaplanmıştır. Bu

enerjinin %94,4'ünü ise kullanım aşamasında IHVİ sistemleri kapsamaktadır (Scheuer ve ark., 2003).

İsviçre'de 1996 yılında binalar üzerinde yapılan araştırmaya göre, yapıların 50 yıllık yaşam döngüsü boyunca yaklaşık 6200-8500 kWh/m² enerji tüketeceği, bunun %85'inin kullanım aşamasında gerçekleşeceği tahmin edilmektedir (Adalberth, 1999).

Bu konular incelendiğinde, yapılan yeni binaların tasarımlarında gerekli tüm önlemlerin alınması ve belirtilen bu durumların da değerlendirme aşamasında dikkate alınması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Isı yalıtımının hem yapının kendisini hem kullanıcıyı hem de büyük ölçeklerde enerjinin ve çıkan atığın tasarrufuyla dünyanın daha yaşanılabilir ve sağlıklı bir hale gelmesinin hedeflendiği söylenebilir.

Binanın ısı etkilerine karşı yalıtılmasındaki amaç, insan konforunun sağlanması ile yapının hem yaz hem de kış koşullarında standartların dışında oluşacak ısı transferi ve yoğunlaşmanın neden olduğu yapı bileşeni hasarlarının (nem, küflenme, korozyon, vb.) önlenmesidir.

Yapılan araştırmalar sonucu, binalarda iç ortam sıcaklığının 18–20 °C, yapı bileşeni sıcaklığının ise 16–18 °C olması gerektiği belirlenmiştir. Bu şartlarda kullanıcılar için istenilen konfor şartları sağlanabilmekte ve yapı bileşenleri zararlı etkilerden korunabilmektedir (Ekinci, 2003).

Günümüzde, yapı-yatırım sektörü aynı zamanda en büyük potansiyele sahip alanı da temsil etmektedir. Özellikle mühendisliğin ve potansiyel pazarın dikkati binanın yalıtımına odaklanmış durumdadır. İyi bir yalıtım, tüketimde ısıtma/soğutma enerjisi ihtiyacının azalmasına yardımcı olur. Bu hedefler doğrultusunda, dünya üzerinden örnekler vermek gerekirse, yenilikçi ve düşük maliyetli yalıtım malzemelerinin geliştirilmesi, tüm yeni yapıların neredeyse sıfır enerjili binalar olması gerektiğini belirleyen Direktif olan 2010/31 / EU (Avrupa Birliği) sayılı Binalarda Enerji Performansı Direktifi, Avrupa Birliği tarafından ele alınan temel araçlardan biridir (URL-4, 2023). Ek olarak, enerji talebini azaltmak için mevcut binaların yenilenmesi durumunda düşük maliyetli yalıtım malzemelerinden yararlanılabileceği de belirtilmiştir (Chwieduk, 2003; Perez ve ark., 2011).

Ulusal düzeyde bir diğer örnek olarak, İtalya, 2002/91 / CE (Avrupa Uygunluğu Belgesi) Binaların Enerji Performansı Direktifi (EPBD), Lgs 192/2005 ve Lgs 311/2006 isimli iki yasama kanunuyla kabul edilerek, yeni binalar için performans gereksinimlerini güncellemiştir (URL-5, 2023; URL-6, 2023).

Bina zarfının ısıl geçirgenliği (U), iklimin bir fonksiyonu olarak belirlenen maksimum sınırlardan düşük (veya buna eşit) olmalıdır. Duvarlar için U sınırları 0,33 ila 0,62 W / m²K arasında değişecektir. Bu sınırlamalar gittikçe daha kısıtlayıcıdır, bu nedenle düşük kalınlığa sahip yeni verimli yalıtım katmanlarının kullanılması önemlidir.

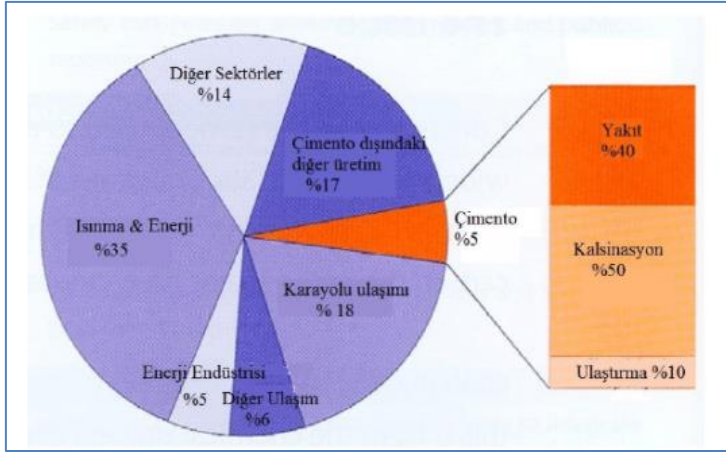
Dış bina zarfına uygulanan yalıtım malzemeleri, sadece ısıl özellikleri değil, aynı zamanda ses yalıtımı için akustik performansları da yerine getirmelidir ve asla daha az olmamalıdır. Bu koşullar düşük çevresel etki ve düşük maliyetli üretim sunar (Uçar ve Balo, 2009).

Çevresel etki göz önüne alındığında, bir kriter, birincil somutlaştırılmış enerji olarak özellikleri, ISO (Uluslararası Standardizasyon Örgütü) 14025-00'a göre Yaşam Döngüsü Analizi yaklaşımına dayalı malzeme, malzemenin üretimi için sera gazı emisyonlarını, biyolojik etkilere karşı katkı maddelerinin kullanımını, atık olarak arıtılmasının sınıflandırılmasını, geri dönüştürülebilirliğini ve çevreye etkisini içermektedir (URL-7, 2023; URL-8, 2023). Ayrıca üretim, kullanım ve bertarafın son aşaması sırasındaki halk sağlığı da incelenmelidir: toz ve lif emisyonları, biyopersistans, toksisite insanların ve çevrenin refahı için çok önemli hale gelmektedir.

Yalıtım malzemeleri maliyeti, en rekabetçi malzemelere oran olarak değerlendirilebileceğinden, maliyet faktörü de dikkate alınmalıdır (URL-9, 2023).

Günümüzde, yapı malzemelerinin yüksek oranda kullanılması sebebiyle, üretim açısından daha ekonomik ve sürdürülebilir sonuçlar elde edebilmek için alternatif malzeme arayışları ortaya çıkmıştır, bu sebeple de atık malzemelerin geri dönüşümü ihtiyacı doğmuştur.

Bir beton karışımı %8 ila 16 arası çimento, %10 ila 18 arası su ve %65 ila 75 arasındaki oranlarda agregadan oluşmaktadır. Betonun içeriğindeki agrega doğadan direk olarak alınmakta, çimento ise üretimi esnasında bir miktar CO₂ açığa çıkarmaktadır. Beton üretimi kaynaklı dünyadaki CO₂ salınımı diğer sektörlerle kıyaslandığında, sanıldığı kadar aksine çok fazla bir miktara sahip değildir. Şekil 1.2'de de görüldüğü gibi ısınma ve enerji kaynaklı CO₂ salınımı, diğer sektörlerle kıyasla daha yüksek bir yüzdeye sahiptir.



Şekil 1.2. Çimento üretiminden kaynaklı CO₂ salınımı

Asdrubali ve arkadaşlarının çalışmasında, geleneksel olmayan malzemeden yapılan bazı bina yalıtım ürünlerinin güncel bir incelemesi bildirilmektedir. Pazara şu anda mineral yün, ekstrüde ve genişletilmiş polistiren gibi birkaç termo-akustik yalıtkan kategorisi hâkim olsa da daha çevre dostu binalara yönelik, yeni sürdürülebilir malzemeler için gelişme fırsatlarının ana hatlarını çizdikleri çalışmalarında, nadiren kullanılan hatta prototip bir aşamada malzemelerin termal, akustik ve çevresel performansını araştırmışlardır. Bu geleneksel olmayan ürünlerin, tarımsal üretim ve işleme endüstrileri gibi doğal kaynaklar kullanarak üretilebileceğinden bahseden Asdrubali ve arkadaşları, termal konularla ilgili olarak, Ekspande Polistiren (EPS), Ekstrüde Polistiren (XPS) ve koyun yünü ile karşılaştırılabilir yoğunluğa ve termal iletkenliğe sahip geri dönüştürülmüş bir pamuk yalıtkan örnek vererek, geri dönüştürülmüş denimden yapılan malzemelerde akustik performans, yüksek ses yutma ve yalıtım değerlerini ölçmüşlerdir. Geri dönüştürülmüş polietilen tereftalat (Termoplastik polimer reçine, (PET)) ve tekstilden yapılan ürünlerin, çevre performansı kaya yünü ve kenaf elyafından daha iyi özellikte olduğu sonucuna varmışlardır (Asdrubali ve ark., 2015).

Sartor ve arkadaşları, yaptıkları çalışmalarında, domuzların annelik döneminde yaşadıkları sıkıntılardan birinin de çok fazla elektrik tüketimi ve üretim maliyetlerinde artış gerektiren ısıtılmış sürüngenlerin kullanılmasıyla yeni doğan domuz yavrularının kalori talebinin karşılanması olduğunu, tesislerde hayvanlara daha iyi termal koşullar sağlamak ve elektrik kullanımından tasarruf etmek için ısı yalıtımı alternatifleri arandığını belirtmişlerdir. Çalışmalarında, ısı yalıtım malzemesi olarak geri dönüştürülmüş malzeme olarak TPK (uzun

ömürlü ambalaj-Tetra Pak) kullanımının ısı kayıplarını azalttığı sonucunu elde etmişlerdir (Sartor ve ark., 2018).

Ricciardi ve arkadaşları, geri dönüştürülmüş malzemelerden üretilmiş yalıtım panelinin ısı iletkenlik katsayılarının ölçümünü yapmışlardır. Atık kâğıt ve tekstil ürünlerinden oluşan malzemelerin termal ve akustik performanslarını değerlendirmek için ölçümler yapan Ricciardi ve arkadaşları, yenilikçi numunelerin ısı iletkenlik değerlerinin taş yünü ($0,037 \text{ W / m}^2\text{K}$), kâğıt yünü ve mineral yünü ($0,04 \text{ W / m}^2\text{K}$) ile benzer olduğunu ancak yeni panellerin yoğunluklarının ($433\text{--}483 \text{ kg/m}^3$) kaya yünü (90 kg/m^3), kâğıt ve mineral yün ($32\text{--}40 \text{ kg/m}^3$) yoğunluklarından daha yüksek olduklarını görmüşlerdir (Ricciardi ve ark., 2014).

Erkmen ve Sarı çalışmalarında, yapılar için çevre dostu, kolay ulaşılabilir, ucuz, yenilenebilir, ısı ve su yalıtımı sağlayan bir kompozit malzeme üretmeyi amaçlamışlardır. Çalışmalarında, üretim aşamasında atık kağıtlar, fındık kabukları, çam kozalakları ve koyun yünü kullanmışlardır. Malzemelerin doluluk oranlarını Marshall stabilitesi (RMS) kullanarak optimize etmişlerdir. Yaptıkları çalışmada, örneklerin ısı iletkenliklerinin $0,0511$ ila $0,0861 \text{ W/mK}$ ve yoğunluklarının $0,678$ ila $0,99 \text{ g/m}^3$ olduğunu görmüşlerdir. Biyokütle atıklarından tamamen çevre dostu ve düşük maliyetli bir malzeme üretmişlerdir (Erkmen ve Sarı, 2023).

Hanson ve arkadaşları, yer altı inşaatlarında geri dönüştürülmüş malzemelerin kullanımını değerlendirmek için çalışma yapmıştır. Atıktan elde edilen malzemeler dahil olmak üzere farklı yalıtım malzemeleri değerlendirilen çalışmada, geleneksel XPS yalıtımı kullanan ve yalıtımsız simülasyonlar, parçalanmış lastikler ve atık tekstillerle karşılaştırmıştır. Sonuçlar, geri dönüştürülen atık malzemelerin yalıtım işlevi sağlamada etkili olduğunu göstermiştir. Özellikle, tekstil atık malzemeleri, yer altı inşaat uygulamalarında ısı yalıtımı olarak kullanım için uygulanabilirliği gösteren geleneksel yalıtım performansına denk veya bu performansı aşmıştır (Hanson ve ark., 2016).

Çok katlı binalarda ölü yükü azaltmanın en etkili yolunun ağırlığı hafifletmek olduğunu belirten Demirdağ ve Gündüz, yaptıkları çalışmalarda; İnşaat mühendisliği uygulamalarında yüksek performanslı kagir üniteleri üretmek için Ege Bölgesi, Manisa ili yakınlarından kırmızımsı renkli ince volkanik cüruf agregası (FVSA) ve iri volkanik cüruf agregası (CVSA) içeren hafif beton karışımlarını test ederek, araştırma bulgularını çalışmalarında paylaşmışlardır. Araştırma, yüksek performanslı kagir birimlerin ince ve iri volkanik cüruf agregalı hafif beton kullanılarak üretilbileceğini göstermiştir. Araştırma

bulguları, karışımdaki volkanik cüruf agregası miktarının artmasının volkanik cüruf agregalı hafif betonun (VSALC) ısı iletkenliğini azalttığını göstermiştir (Demirdağ ve Gündüz, 2008).

Al-Awabdeh ve arkadaşları, silanla işlenmiş ve işlenmemiş cam atığın betona dahil edilmesiyle ilgili bir araştırma sunmuşlardır. İri ve ince agregaları ağırlıkça %30 ve %50 oranlarında cam atığı ile değiştirerek, betona katkı maddesi olarak ağırlıkça %2 ve ağırlıkça %5 oranlarında cam tozu kullanmışlardır. Çalışmalarında ürettikleri beton numunelerin fiziksel, mekanik, mikroyapısal ve yüzey kimyasal özellikleri sırasıyla su emme testi, basınç ve yarmada çekme dayanımı testleri, Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) ve Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) analizlerini yaparak incelemişlerdir. Sonuçlarda, cam atığının ve silanın birleştirme maddesinin birleşik etkisinin, kumu ağırlıkça %50 camla değiştirirken betonun geçirimsizliğinin %87 arttırdığını, katkı maddesi olarak işlenmemiş cam tozunun kullanıldığı karışımlar dışında, modifiye edilmiş tüm karışımların 28 günlük basınç dayanımlarında kontrole kıyasla bir azalmanın olduğunu, bu da bunların basınç dayanımlarında %1 artışa yol açtığını ve ayrıca, kumun ağırlıkça %50 camla değiştirilmesinin betonun yarmada çekme dayanımını %25 arttırdığını görmüşlerdir. Çalışmalarının, umut verici sonuçlar sağladığını ve bununla birlikte cam atığının betona dahil edilmesi için yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA), yaşam döngüsü maliyeti (LCC) ve karbon ayak izi tahminini incelemek için daha fazla araştırmaya ihtiyaç olduğunu belirtmişlerdir (Al-Awabdeh ve ark., 2022).

Cunha ve arkadaşlarının çimento harçlarına atık parafin mumları ve seramik kalıp kabuklarını dahil ederek harçların fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine yaptıkları çalışmalarında, harçların işlenebilirlik, su emme, eğilme ve basınç dayanımlarında azalma gösterdiğini, bununla birlikte, harçların olası bir pratik uygulamayı kanıtlayan, tatmin edici bir fiziksel ve mekanik davranış sergilediğini, bu iki farklı türde atık malzemenin (parafin mumları ve seramik kalıp kabukları) harçlarda doğal agrega yerine kullanılmasının depolama alanlarındaki malzeme birikimini azaltmak için olası bir çözüm olarak görülebileceğini belirtmişlerdir (Cunha ve ark., 2022).

Gharibi ve arkadaşları, geleneksel betonun termal özelliklerinin şimdiye dek kapsamlı bir biçimde araştırılmış olmasına rağmen, tarımsal atık küllerinin üçlü bağlayıcıların termal özellikleri üzerindeki etkilerini ele alan önemli araştırmaların kaldığını belirttikleri çalışmalarında, %5, 10, 15 ve 20 oranlarında kozalaklı ağaç yaprağı ve çam külü ikamesi içeren 153 adet beton numunesi dökerek, bu numunelerin su emme, basınç ve ısı

iletkenliklerini incelemişlerdir. Ayrıca çalışmalarında, kozalaklı ağaç külünün betonun ısı iletkenliği üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla bir ısıtma kaynağına maruz kalan betonun ısı performans testini yapmışlardır. Çalışmalarında yaptıkları testlerde, basınç dayanımı açısından çam ve yaprak külü için optimum ikame seviyelerinin sırasıyla %15 ve %10 olduğu, referans numunelerle karşılaştırıldığında, çam ve yaprak külünün %20 oranında değiştirilmesinin, su emmede sırasıyla %11,9 ve %9,3 azalmayla sonuçlandığı, kozalaklı ağaç külünün uygulanmasının, düşük enerjili binaların inşası için gerekli olan betonun ısı iletkenliğini önemli ölçüde azalttığı tespit edilmiştir. Ayrıca, kozalaklı küllerin numunelerin ısı iletkenliğini (1.565 W/mK) önemli ölçüde daha düşük bir miktara düşürdüğü, %20 çam ve yaprak külü içeren beton numunelerinin ısı iletkenliğini sırasıyla %24,7 ve %26 oranında azalttığı tespit edilmiştir. Çalışmaları sonucunda, kozalaklı ağaç külünün uygulanmasının betonun termal performansını arttırdığı ve beton binalarda genel olarak daha düşük enerji tüketimine yol açtığı sonucuna varmışlardır (Gharibi ve ark., 2023).

Benjeddou ve arkadaşları, dünya çapında endüstriyel faaliyetlerden büyük miktarda endüstriyel katı atık üretildiğini, bu atıklardan birinin de mermer atıkları olduğunu ve taş ocaklarından kaynaklanan ve çok fazla miktarda üretilen bu atığa dikkat edilmesi gerektiğini belirttikleri çalışmalarında, mermer atıklarının (MWS) ezilmesiyle elde edilen kumun genişletilmiş perlit agregası (EPA) bazlı hafif betonun karıştırılmasında kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Çalışmalarında, en iyi özellikleri elde etmek için mermer atık kumu ve genişletilmiş perlit agregasının mekanik, kimyasal ve fiziksel özellikleri belirlendikten sonra EPA yüzdeleri (%0, 20, 40, 60, 80 ve 100) değiştirilerek farklı beton karışımları hazırlamışlardır. Ayrıca bu çalışmalarında, test edilen beton numunelerinin termal ve akustik özelliklerini de (ısı iletkenlik, ısı yayılım, özgül ısı kapasitesi ve farklı frekanslarda ses azaltma indeksi) araştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlar, mermer atıklarının ezilmesiyle elde edilen kum kullanılarak ısı ve ses yalıtımı sağlayan hafif beton elde etmenin mümkün olduğunu göstermiştir. Ayrıca betona %20'den fazla EPA agregasının eklenmesiyle, ısı depolama kapasitesine sahip ve daha iyi termal performans üreten, termal yalıtımlı hafif bir beton geliştirilebildiğini görmüşlerdir. EPA agrega yüzdesi %20'den fazla olan beton karışımının, akustik yalıtımlı hafif beton kategorisine yerleştirilebileceğini belirttikleri araştırmalarında özetle, mermer atıklarına ve EPA'ya dayalı çimentonun, ekonomik ve çevresel olarak faydalı olan daha iyi işlenebilirlik ve enerji tasarrufu özelliklerini sağladığını ve inşaat bütçesinin azalmasına neden olarak uzun vadeli hammadde sürdürülebilirliğini geliştirebileceğini tespit etmişlerdir (Benjeddou ve ark., 2023).

Najaf ve Abbasi, yaptıkları çalışmada, beton içerisinde kullanılan çimentoyu azaltmak amacıyla cam ve plastik gibi atık malzemeleri değerlendirmeyi hedeflemişlerdir. Araştırmalarında atık cam tozu, atık plastik tozu, mikro silika, uçucu kül ve geri dönüştürülmüş toz beton kullanılarak sıkıştırılmış beton numuneleri oluşturmuşlardır. Sıkıştırılmış numuneler üzerinde yapılan basınç, doğrusal olmayan davranış ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) testlerinde, çimentonun %80'ni çıkarılıp, bunun yerine %20'sini geri dönüştürülmüş beton tozu, %15'ini mikro silika, %15'ini uçucu kül, %15'ini atık plastik tozu ve %15'ini de atık cam tozu (80 °C'de 20 dakika süreyle) olarak değiştirmişlerdir. Sonuç olarak, numunenin basınç ve eğilme dayanımlarına neredeyse eşit basınç ve eğilme dayanım özelliklerine sahip sürdürülebilir beton üretilmiştir. Mikro-silikanın, beton dayanımını artırma ve geri dönüştürülmüş beton tozuyla uygun bir kombinasyon oluşturma konusunda çeşitli eksiklikleri olduğunu tespit etmişlerdir. Çok küçük miktarlarda cam tozunun çimento yerine kullanılabileceğini ve daha büyük miktarlarda agreganın yerini alabileceğini önerdikleri çalışmalarında, cam, plastik ve geri dönüştürülmüş beton gibi malzemelerin yanı sıra mikro silika ve uçucu kül kullanılarak beton harcının tamamen sürdürülebilir hale getirilebileceği sonucuna varmışlardır (Najaf ve Abbasi, 2022).

Mohit ve arkadaşları çalışmalarında, çimento üretim sürecinde önemsenecek miktarda CO₂ üretildiğini, bu nedenle çimento sektöründe CO₂ emisyonlarının azaltılması gerektiğini belirterek, yeni çimento türlerinin kullanımının emisyon azaltımının yanı sıra numunelerin mekanik özelliklerinin ve dayanımının da artırılmasına katkı sunabileceğini öngörmüşlerdir. Mohit ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada kısmi çimento ikamesi olarak seramik atık tozu (CWP) ve kireçtaşı tozu (LSP) içeren çimento harcının mekanik ve dayanıklılık özelliklerini araştırmışlardır. Sonuç olarak, SEM görüntüleri referans numunesinin %30 CWP ve %15 LSP içeren numunenin sırasıyla en düşük ve en yüksek gözenek ve boşluklara sahip olduğunu gösterdiğini ifade etmişlerdir (Mohit ve ark., 2023).

Alfahdawi ve arkadaşları, son zamanlarda sürdürülebilir ve çevre dostu olarak nitelendirilebilecek harç ve beton üretimine ihtiyaç olduğunu belirttikleri çalışmalarında, betonarme, beton harçları ve karışımlarında kum gibi doğal malzemeler yerine kullanılan atık plastik malzemeler (PET, polipropilen (PP), vb.) üzerinde daha önce yapılan kapsamlı çalışmalar hakkında bilgiler vermişlerdir. Söz konusu çalışma içerisinde incelenen araştırmacıların çalışmalarından çıkan sonuçlara göre, betona %0,1 ila %0,5 karışım hacmine sahip plastik atık malzeme eklendiğinde dayanıklılığın %14,28'e kadar

artabildiğini, bazı araştırmacıların çalışmalarında ise eklenen plastik malzemenin hacmine bağlı olarak basınç dayanımının %40'a kadar düşebildiği, bu etkilere ilişkin görüşlerin genelinde büyük farklılıklar gösterdiği belirtilmiştir. Plastiğin eğilme dayanımı üzerindeki etkisine ilişkin görüşler de farklılık gösterdiğinden, bazı araştırmacılara göre toplam hacmin %0,56'sı kadar plastik ilave edilerek eğilme mukavemetinin %20'ye kadar genişletilebildiği, diğer araştırmacılara göre ise aynı miktarda plastiğin bükülme mukavemetini %41'e kadar azaltılabileceğini iddia ederken, başka araştırmacılar ise %0,4 ila %0,8'lik herhangi bir ilavenin beton özellikleri üzerinde farklı sonuçlar çıkacağından belirtildiğinden bahsedilmiştir (Alfahdawi ve ark., 2016).

Aggarwal, çalışmasında COVID-19 pandemisi nedeniyle, kalan atığın kararsız işlenmesine yol açan çok katlı KKD (Kişisel Koruyucu Donanım) kullanımının çevreye zarar verebileceği endişesi doğduğunu, Merkezi Biyo-Tıbbi Atık Arıtma Tesisleri'nden yoksun olan gelişmekte olan ülkelerin, pandemi döneminde üretilen atığın bertarafı esnasında büyük bir zorlukla karşılaşmasının beklendiğini belirtmiştir (Aggarwal, 2020).

Rajendrakumar ve arkadaşları, Hindistan için yaptıkları araştırmalarında, 1,38 milyar insan ve çok sayıda doğrulanmış vakanın bildirildiği Hindistan'ın hastanelerinde büyük miktarlarda atık üretilmesinin beklendiğini belirtmiştir (Rajendrakumar ve ark., 2021).

Bir kriz şeklinde ilerleyen tıbbi atıkların ve maskelerin uygunsuz şekilde atılması nedeniyle işçilerde de çok fazla enfeksiyon vakası bildirilmiştir (Abhimanyu, 2021). Bu nedenle, tıbbi atıkların kaynağında ayrılmasını teşvik etmek ve bulaşıcı hastalığın yayılmasını azaltmak için daha etkili bir taşıma, depolama ve bertaraf yöntemi sağlamak tüm dünya için elzem hale gelmiştir. KKD kiti kullanımının artması ve tek kullanımlık olması nedeniyle büyük atık oluşumuna yol açacaktır. Wuhan Raporu'na göre, pandemi sırasında tıbbi atık üretiminin günde 40 ila 50 tondan 247 tona hızlı bir artış gösterdiği fark edilmiştir (McNally ve ark., 2020).

Oss ve arkadaşları ile Hanle ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, KKD kitlerinin yeniden kullanımının önündeki engellerden biri de dekontaminasyon işleminden sonra virüsten izole edilen malzemenin etkinliğinin azalması olduğunu belirtmiş, bunun geleneksel yakma işlemine kıyasla atık yönetimine sürdürülebilir bir yaklaşım sağlayacak olan başka bir yararlı ürüne dönüştürülmesine yönelik olarak atık malzemenin yeniden kalıplanması için yeni bir olasılık ihtimalini değerlendirmişlerdir. Geri dönüşümün yenilikçi yollarından birinin de atık plastiği mevcut inşaat malzemeleriyle birlikte yapıştırıcı olarak (çimento yerine) kullanılması gerektiğini belirttikleri çalışmalarında, 2001'de 100 Mt olan çimento

üretimini 2014'te 280 Mt'a çıkaran ekonomik gelişme nedeniyle Hindistan'da çimento ihtiyacının da hızla arttığının altını çizmişlerdir (Oss ve ark., 2003; Hanle ve ark., 2004).

Önemli bir kaynak olan çimentonun ikame edilmesi karbon dioksit emisyonunun alternatif malzeme türleri ile çevre dostu bir yaklaşımla azaltılmasının önünü açar (Thorneycroft ve ark., 2018). Betondaki plastik atıkları hafif beton yapıya yol açacak bir dolgu maddesi olarak kullanmak için çeşitli araştırma faaliyetleri halihazırda yürütülmüştür (Sharma ve Bansal, 2016; Siddique ve ark., 2008). Raporlar plastik atıkların beton yapılarda dolgu maddesi olarak yeterince kullanıldığını göstermiştir (Jaivignesh ve Sofi, 2017; Suganya ve ark., 2018). Bitüm ile yol yapımı için atık plastiklerin kullanımı Gana, Cezayir ve Hindistan gibi gelişmekte olan ülkelerde uygulanmaktadır (Gawande ve ark., 2012; Manju ve ark., 2017). Çeşitli inşaat malzemelerine dahil edilen düşük yoğunluklu polietilen (LDPE), yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) vb. gibi farklı plastik türleri ile çok sayıda çalışma yapılmıştır (Nouali ve ark., 2020; Mohan ve ark., 2020).

Mohan ve arkadaşları, COVID-19 salgınının büyük hacimlerde biyomedikal atıkları ortaya çıkardığını ve bu salgının en büyük sorunlarından birinin de bu biyomedikal atıkların bertaraf edilmesi olduğunu belirtmiş, kum dolgu maddeleri ile KKD atıklarından inşaat malzemesi kompozitlerinin üretilmesine ilişkin bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında, üç farklı dolgu oranında nehir kurumu ve üretilmiş kum ile numuneler hazırlamışlar ve hazırlanan kompozit malzemelerin çekme, basma, eğilme dayanımlarını detaylandırarak mevcutta bulunan yapı malzemeleri ile karşılaştırmışlardır. Malzemelerin asit direnci ve nem emme gibi dayanıklılık özelliklerini de incelemişlerdir. Çalışmaları sonucunda, Atık KKD'lerden yapılan kompozitin kerpiç ve çimento blok gibi diğer inşaat malzemelerine göre sıkıştırma, çekme ve eğilmede üstün performans gösterdiği, su emilimi ve asit bozunmasının minimum değer yakaladığı, mukavemetinin olumsuz koşullara maruz kaldıktan sonra pek etkilenmediği, elde edilen kompozitin ısı iletkenliğinin geleneksel betona göre daha düşük bulunduğu ve bu sebeple tropik bölgelerde ısı yalıtım malzemesi olarak seçilmesinin ideal olabileceği, ileriye dönük olarak, çimento bazlı inşaat malzemesinin yerine biyomedikal plastik atığı kullanmak ve dolayısıyla negatif bir karbon döngüsüne yardımcı olmak için yeni bir sürdürülebilir yaklaşım oluşturmasının beklendiği belirtilmiştir (Mohan ve ark., 2022).

Bu çalışmada ise, COVID-19 pandemisinde de net bir şekilde gözlemlendiği gibi, tek kullanımlık herhangi bir materyalin geri dönüştürülmesinin sağlanmasının ve yeniden üretim alanına girmesi gerektiğinin farkında olarak, tek kullanımlık iş güvenliği ekipmanlarından olan kulak tıkacı, beton ve şap içerisinde agrega olarak kullanıldı.

15x15x15 cm'lik beton kalıplarında sırasıyla %5, %10, %15 ve %20 oranlarında agrega yerine tek kullanımlık iş güvenliği ekipmanlarından olan kulak tıkacının ham maddesi kullanılarak 4 adet beton numunesi ve 15x15x15 cm'lik beton kalıplarında ayrıca %25, %50 ve %75 oranlarında agrega yerine kulak tıkacının hammaddesi kullanılarak 3 adet şap numunesi elde edildi. Beton ve şap numunelerinin karşılaştırılması için birer adet kontrol numunesi yapılarak, elde edilen tüm numunelerin ısı iletkenlik ve yoğunluk değerleri ile beton numunelerin dayanım değerleri ölçümleri gerçekleştirildi. Aşağıda belirtildiği üzere, yapılan ölçümlere dayanarak, elde edilen ısı iletkenlik değerleri sonuçlarına göre, kulak tıkacının beton ve şap içerisinde kullanımının ısı iletkenlik katsayısını iddialı bir şekilde azaltarak ısı direnci düşürdüğü tespit edilmiştir.



2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, beton ve şap içerisindeki agrega yerine belli oranlarda kullanılan kulak tıkacı malzemesi Resim 2.1’de görülmektedir. Kulak tıkacı malzemesi tek kullanımlık olup endüstride bir çok alanda ses seviyesini azaltarak çalışanların duyma sağlığını korumak amacıyla iş güvenlik malzemesi olarak kullanılmaktadır. Kulak tıkacının tek kullanımlık olması ve bir çok yerde kullanılabilir olması sebebiyle atık oluşumunun ne kadar büyük miktarlarda olacağı tahmin edilebilir bir gerçektir. Bu nedenle atık malzemenin beton içerisinde değerlendirilebileceği gerçeği atığın bertaraf edilmesine ve ülke ekonomisine büyük katkılar sağlayacaktır. Bu amaçla, Resim 2.1’de gösterilen kulak tıkacı malzemesi Ravago Petrokimya Üretim A. Ş. firmasından tedarik edilerek beton ve şap deneylerinde kullanılmıştır. Tamamen geri dönüştürülebilir bir malzeme olan ve kulak tıkacı yapımında hammadde olarak kullanılan poliolefin bazlı termoplastik elastomer (SEBS) bileşiğine ait özellikler Tablo 2.1’de belirtilmiştir.



Resim 2.1. Kulak tıkacı hammaddesi (Poliolefin bazlı termoplastik elastomer (SEBS))

Tablo 2.1. Kulak tıkacı hammaddesinin özellikleri (URL-10, 2023)

Özellikler	Değer	Birim
Fiziksel Özellikler		
Sertlik	25	A
Yoğunluk	0,9	gr/cm ³
Kırılma noktası	-55	°C
Mekanik Özellikler		
%100 Modül	0,4	Mpa
%300 Modül	0,9	Mpa
Kopma Anında Çekme Dayanımı	4	Mpa
Kopma Uzaması	> 800	%
Yırtılma Dayanımı (akışa dik)	19	kN/m
Yaşlanma		
Sıkıştırma (72 saat/23 °C)	9	%
Sıkıştırma (22 saat/ 70 °C)	25	%
Termal Özellikler		
Max. Dinamik Servis Sıcaklığı	90	°C

Bu çalışmada, kulak tıkacının hammaddesi beton ve şap içerisinde kullanılmıştır. Beton ve şap olmak üzere iki adet kontrol numunesi ile birlikte, beton için %5, %10, %15 ve %20 oranında agrega kulak tıkacı hammaddesiyle değiştirilmiş numune ve şap için ise %25, %50 ve %75 oranında agregası kulak tıkacı hammaddesiyle değiştirilmiş numuneler oluşturulmuştur.

Çalışmada üretilen beton numunesi için “Seza Çimento Fabrikası”ndan temin edilen “CEM I 42,5 R” tipi çimento kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun özellikleri Tablo 2.2’de verilmiştir.

Tablo 2.2. Seza Çimento Fabrikası'na ait CEM I 42,5 R çimentosunun özellikleri

Özellik	CEM I 42,5 R	Özellik	CEM I 42,5 R
SiO ₂ (%)	18,75	Özgül Ağırlık (g/cm ³)	3,1
Al ₂ O ₃ (%)	4,41	Priz başı (dk)	130
Fe ₂ O ₃ (%)	3,65	Priz sonu (dk)	230
CaO (%)	63,83	İncelik (cm ² /g)	3727
Cl (%)	0,017	Basmıç dayanımı 2 gün	27,7
Ç. Kalıntı (%)	0,35	Basmıç dayanımı 7 gün	44,9
K. Kaybı (%)	4,03	Basmıç dayanımı 28 gün (MPa)	56,3

Çalışma içerisinde, çimento hamuru ve beton için karışım suyu olarak Malatya Organize Sanayi Bölgesi şebekesinden temin edilen TS EN 1008 Standardı'na uygun su kullanılmıştır. Ayrıca beton karışımları TS 802 Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları'na uygun olarak yapılmıştır.

Tablo 2.3'te çalışmada kullanılmak üzere üretilen beton numunelerinin içerikleri verilmiştir.

Tablo 2.3. Agregası yüzdesel olarak kulak tıkacıyla değiştirilmiş numunelerin içerik oranları

	Kontrol		5%		10%		15%		20%	
Bileşen	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)
Su	160	190	160	160	160	160	160	160	160	160
Çimento	129	400	129	400	129	400	129	400	129	400
Kulak tıkacı ham maddesi 0-4 mm	0	0	15	13	28	25	45	40	59	53
2 no'lu mıcır (12-22 mm)	214	599	214	599	214	599	214	599	214	599
1 no'lu mıcır (5-12 mm)	180	477	180	477	180	477	180	477	180	477
İnce Agregası (0-4 mm)	297	743	282	705	269	707	252	707	238	707
Hava	20		20		20		20		20	

Tablo 2.3'te belirtilen bileşen oranlarına göre, 15x15x15 cm'lik beton kalıplarına dökülerek yapılan karışımlar Resim 2.2 ve Resim 2.3'te belirtilmiştir.



Resim 2.2. Beton numunenin kalıp içerisinde görünümü



Resim 2.3. Beton numune

Resim 2.4'te görülen kontrol numuneleri ile %5, %10, %15 ve %20 agregası değiştirilmiş numunenin ısı iletim katsayısının tespiti ve basınç dayanımı ölçümleri için dökümleri sağlanmıştır.



Resim 2.4. Isıl iletkenlik katsayısı ve basınç dayanım testleri için dökülen beton numuneler

Beton numuneler 24 saat oda sıcaklığı koşullarında bekletildikten sonra 15x15x15 cm beton kalıplarından çıkarılarak 28 gün boyunca su dolu kaplar içerisinde bekletilmiştir. Numunelerin basınç dayanımları Resim 2.5'te belirtilen UTEST Material Testing Equipment firmasına ait Otomatik Basınç Dayanım Deney Presi (UTC-4231) cihazı ile ölçülmüştür.



Resim 2.5. Otomatik basınç dayanım deney presi (UTC-4231)

Tablo 2.4'te beton numunelerin dayanım ölçümleri ile ilgili değerler verilmiştir.

Tablo 2.4. Beton kontrol numunesi ve agregası değiştirilen beton numunelerin basınç dayanımları (N/mm²) ve dayanım azalma oranları (%)

Numune Adı	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Azalma Oranı (%)
Beton Kontrol Numunesi	50,75	
%5 Agregası Kulak Tıkacı İle Değiştirilmiş	47,22	6,96
%10 Agregası Kulak Tıkacı İle Değiştirilmiş	40,07	21,04
%15 Agregası Kulak Tıkacı İle Değiştirilmiş	32,16	36,63
%20 Agregası Kulak Tıkacı İle Değiştirilmiş	30,04	40,81

15x15x15 cm boyutlarındaki beton numunelerin ısı iletkenlik değerleri, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Jeotermal Enerji Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde mevcut olan ve Resim 2.6'da görülen KEM QTM 500, Isıl İletkenlik Ölçme Cihazı ile ölçülmüştür. Cihazın ölçüm aralığı 0.023-11.63 W/mK, ölçüm hassasiyeti %5, sıcaklık aralığı (-10)-200°C olarak belirtilmiştir.



Resim 2.6. QTM 500 Isıl İletkenlik Ölçüm Cihazı

Şekil 2.7'de bu tez çalışmasında üretilen beton numunelerden bir adedinin ısı iletim katsayısı ölçülürken çekilen bir fotoğrafı görülmektedir.



Resim 2.7. Beton numunenin QTM 500 cihazı ile ısı iletkenlik değerin ölçümü

Beton numunelerin ısı iletim katsayılarının ölçüm değeri Tablo 2.5’te verilmiştir.

Tablo 2.5. Beton numunelerin ısı iletim katsayıları

SIRA NO	VERİLER	Kütle (kg)	Hacim (m ³)	Yoğunluk (kg/m ³)	Isı İletim Katsayısı (W/mK)
1	Beton Kontrol Numunesi	8,1	0,003375	2400	2,4326
2	%5 Agrega Katkılı	8,1	0,003375	2400	2,2348
3	%10 Agrega Katkılı	8,1	0,003375	2400	2,1292
4	%15 Agrega Katkılı	8,1	0,003375	2400	2,1081
5	%20 Agrega Katkılı	8,1	0,003375	2400	2,0986

Çalışma, şap numuneleri için de beton numunelerdeki gibi ilerlemiştir. İzmir Çimento Fabrikası Türk A.Ş. (Çimentaş) fabrikasından temin edilen CEM I 42,5 R tipi çimento malzemesi şap numuneleri içerisinde kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun özellikleri Tablo 2.6’da verilmiştir.

Tablo 2.6. İzmir Çimento Fabrikası Türk. A.Ş. fabrikasına ait CEM I 42,5 R çimentosunun özellikleri (URL-11, 2023)

Özellik	Birim	TS EN 197-1
2 Günlük Basınç Dayanımı	Mpa	Min. 20,00
28 Günlük Basınç Dayanımı	Mpa	42,5-62,5
SO ₃	%	Max. 4,00
Klorür	%	Max. 0,1000
Kızdırma Kaybı	%	Max. 5,00
Çözünmeyen Kalıntı	%	Max. 5,00
Priz Başlangıcı	Dakika	Min. 60
Genleşme	mm	Max. 10

Araştırmada şap numuneleri için karışım suyu olarak İzmir Büyükşehir Belediyesi şebekesinden temin edilen TS EN 1008 Standardı'na uygun su kullanılmıştır.

Tablo 2.7'de çalışmada kullanılmak üzere yapılan şap numunelerinin içerikleri verilmiştir.

Tablo 2.7. Agregası yüzdesel olarak kulak tıkaçı ile değiştirilmiş şap numunelerinin içerik oranları

	Kontrol		25%		50%		75%		100%	
Bileşen	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)
Su	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Çimento	100	311	100	311	100	311	100	311	100	311
Kulak tıkaçı 0-4mm	0	0	250	225	375	337.5	562.5	506.25	750	675
Agrega 0-4mm	750	1980	500	1320	375	990	187.5	495	0	0

Tablo 2.7'de belirtilen bileşen oranlarına göre, 15x15x15 cm'lik beton kalıplarına dökülerek yapılan şap karışımları Resim 2.8, Resim 2.9 ve Resim 2.10'da gösterilmektedir.



Resim 2.8. Beton kalıbı ve ölçüm yapılan hassas terazi



Resim 2.9. Şap numunelerinin karıştırıldığı kap



Resim 2.10. Karıştırılan şap numunesinin kalıba dökülmüş hali

Yukarıda belirtilen şap numuneleri de 24 saat oda sıcaklığında bekletildikten sonra beton kalıplarından çıkarılarak 28 gün boyunca su dolu kap içerisinde Resim 2.11’de gösterildiği gibi bekletilmiştir.



Resim 2.11. Oluşturulan numunelerin 28 gün bekletildiği kap

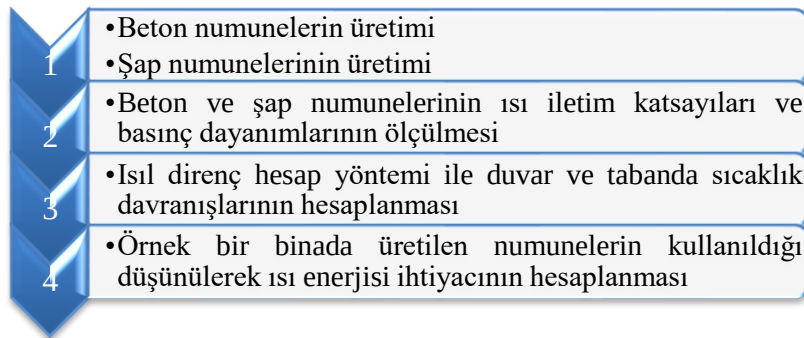
Söz konusu 15x15x15 cm boyutlarındaki şap numunelerinin ısı iletkenlik değeri, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Jeotermal Enerji Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde bulunan, Şekil 2.5'te gösterilen KEM QTM 500, Isıl İletkenlik Ölçme Cihazı ile ölçülmüştür.

Şap numunelerinin ısı iletim katsayılarının ölçüm değeri Tablo 2.8'de verilmiştir.

Tablo 2.8. Şap numunelerinin ısı iletim katsayıları

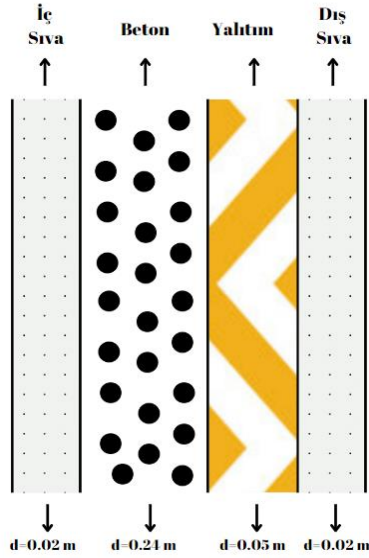
VERİLER	Kütle (kg)	Hacim (m ³)	Yoğunluk (kg/m ³)	Isı İletim Katsayısı (W/mK)
Şap Kontrol Numunesi	6,9	0,003375	2.044,44	1,5467
25% Agrega Katkılı	5,7	0,003375	1.688,89	1,226
50% Agrega Katkılı	5,3	0,003375	1.570,37	0,8468
75% Agrega Katkılı	4,3	0,003375	1.274,07	0,4688

Beton ve şap numuneleri üretilip ısı iletim katsayısı ve basınç dayanımları ölçüldükten sonra, referans beton ve referans şap numuneleriyle kıyaslayabilmek amacıyla bir evin duvar ve tabanında kullanılan iki adet yapı bileşeni senaryosu düşünülmüştür. Bu yapı bileşeni senaryolarına göre, bir duvarda ve tabanda ısı geçişinin davranışı beton numuneleri ve şap numunelerinde tespit edilmiştir. Yapılan hesaplamalarda sürekli rejim koşulları kabul edilerek ısı direnç hesap metodu kullanılmıştır. Ayrıca örnek bir ev modelinde 3. Derece Gün Bölgesi için ısı enerjisi ihtiyacı, her numune için ayrı ayrı hesaplanarak üretilen numunelerin neden olduğu ısı enerjisi tasarrufu hesaplanmıştır. Böylelikle ne kadar enerji tasarrufu sağlandığı tespit edilmiştir. Bu teze ait akış şeması Şekil 2.1'de görülmektedir.



Şekil 2.1. Çalışmada izlenen yolun şematik gösterimi

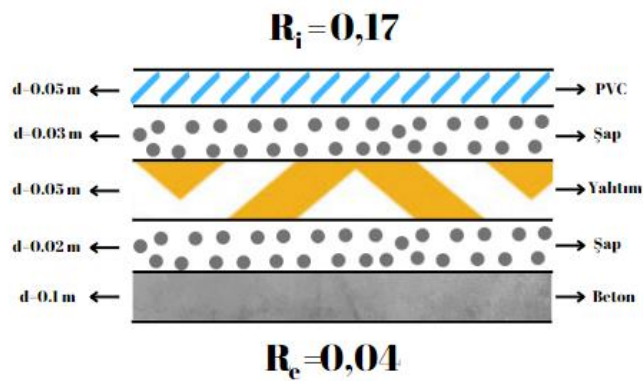
Şekil 2.2’de, genel olarak binalarda kullanılan bir duvarın bileşenleri ve kalınlıkları gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Betonarme duvar bileşenleri ve kalınlıkları

Şekil 2.2’de gösterilen duvar modeli genel olarak betonarme duvarlarda kullanılan duvar modelidir. Hesaplamalarda bu duvar modelindeki beton kısmında ürettiğimiz beton modelleri kullanarak 3. derece gün bölgesine ait ortalama sıcaklıklarda sıcaklık değişimleri hesaplanarak farklı beton bileşenlerinin oluşturduğu etki incelenmiştir.

Şekil 2.3’te, genel olarak binalarda kullanılan bir taban modelinin bileşenleri ve kalınlıkları gösterilmektedir.



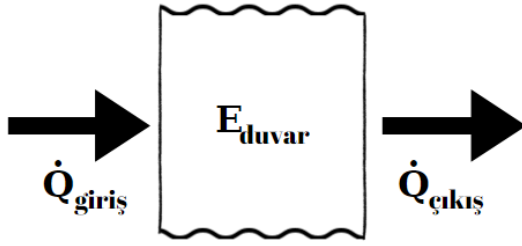
Şekil 2.3. Taban bileşenleri ve kalınlıkları

Şekil 2.3'te gösterilen taban modeli genel olarak binalarda uygulanan modeldir. Bu modelde şap yerine farklı içeriklerde ürettiğimiz şap numuneleri kullanılarak 3. derece gün bölgesindeki ortalama hava sıcaklığı koşullarına göre bileşenler arasındaki sıcaklık değişimleri incelendi ve farklı içerikli şap numunelerinin sıcaklık düşümlerine verdiği tepkiler kıyaslandı.



2.1. Hesap Yöntemi

Bu çalışmada hesap yöntemi olarak duvar ve taban modellerindeki sıcaklık düşümlerini hesaplayabilmek için sürekli şartlar kabulü yapılarak ısı direnç yöntemi kullanılmıştır. Şekil 2.4'te her iki tarafındaki sıcaklıkların farklı olduğu hava koşullarında bulunan bir duvar sistemi görülmektedir.



Şekil 2.1.1. Bir duvar sistemindeki ısı enerji analizi

Şekil 2.4'te görülen duvar sistemine enerjinin korunumu olarak da bilinen Termodinamiğin 1. Kanunu uygulanır. Termodinamiğin 1. Kanunu, enerjinin var ya da yok olmayacağını, yalnızca şekil değiştirebileceğini belirtir. Termodinamiğin 1. Kanunu'na göre enerji dengesi Şekil 2.5'te gösterilmiştir.

$$\left(\begin{array}{c} \text{Duvara giren} \\ \text{ısı transfer} \\ \text{miktarı} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{Duvardan çıkan} \\ \text{ısı transfer} \\ \text{miktarı} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{Duvarın enerji} \\ \text{miktarındaki} \\ \text{değişim} \end{array} \right)$$

Şekil 2.1.2. Termodinamiğin 1. Kanunu'na göre enerji dengesi

Buna göre, enerji dengesi Denklem 2.1’de görülmektedir.

$$\dot{Q}_{giren} - \dot{Q}_{çıkan} = \frac{dE_{duvar}}{dt} \quad (2.1)$$

Burada, iç ve dış sıcaklıkları sabit kabul ederek, sürekli rejimde bu problemi incelersek $\frac{dE_{duvar}}{dt} = 0$ olur.

İletim ile birim zamanda transfer edilen ısı miktarını hesaplamak için Formül 2.2’de belirtilen Fourier Isı İletim Kanunu kullanılmaktadır.

$$\dot{Q}_{iletim} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (2.2)$$

Denklem 2.2’deki diferansiyel denklem tanımlı duvar kalınlığı ve tanımlı sıcaklık sınır şartlarında çözülmek için düzenlenirse Denklem 2.3’te görülen denklem elde edilir.

$$\int_0^L \dot{Q}_{iletim} dx = \int_{T_1}^{T_2} kAdT \quad (2.3)$$

Denklem 2.3’teki integral çözülürse Denklem 2.4 elde edilir.

$$\dot{Q}_{iletim} = kA \frac{T_1 - T_2}{L} \quad (W) \quad (2.4)$$

Denklem 2.4’te “k” ısı iletim katsayısını (W/m°C), “A” ısı transferine dik yüzey alanını (m²), “L” duvar kalınlığını (m), “T₁” (°C) ve “T₂” (°C) sırasıyla iç ve dış sıcaklıkları ifade etmektedir.

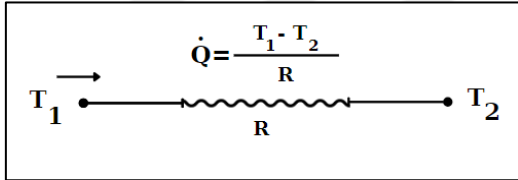
Denklem 2.4 düzenlenirse Denklem 2.5 elde edilir.

$$\dot{Q}_{iletim} = \frac{T_1 - T_2}{R_{iletim}} \quad (2.5)$$

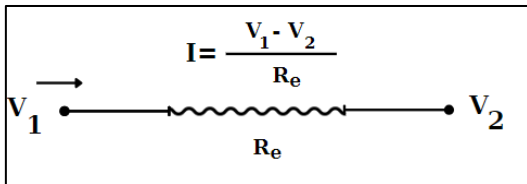
Denklem 2.5'te paydada elde edilen ifade ısı iletim direncini göstermektedir ve Denklem 2.6'da verilmektedir.

$$R_{\text{iletim}} = \frac{L}{kA} \quad (^\circ\text{C/W}) \quad (2.6)$$

Bilindiği üzere elektrik akışı ile ısı akışı arasında paralellik vardır. Malzemeye dair bir özellik olan ısı iletim katsayısı malzeme yapısına ve sıcaklığa göre değişimler gösterir. Malzemenin yapısına bağlı olarak ısı iletim katsayısı iki şekilde etkilenir. Birincisi malzemenin moleküler yapısındaki düzendir. Ne kadar düzenli molekül yapısına sahipse malzeme o kadar iyi ısı iletkenliğe sahiptir. Aslında genel olarak katıların sıvı ve gazlardan daha iyi ısı iletibilmesi molekül yapısının düzeniyle ilgilidir. İkinci olarak da malzeme atomlarında boşta kalan elektron (elektron gazı) ile ısı iletilmektedir. Malzemenin bu özelliği elektrik iletkenliğini de etkiler. Elektrik akımı boşta kalan elektron ile sağlanmaktadır. Bahsedilen bu ikinci durum bir malzemede ısı akışı ve elektrik akışı benzerliğini açıklamaktadır. Elektrik akışı ile ısı akışının benzerliği Şekil 2.6 ve Şekil 2.7'de görülmektedir.



Şekil 2.1.3. Isı akışı



Şekil 2.1.4. Elektrik akışı

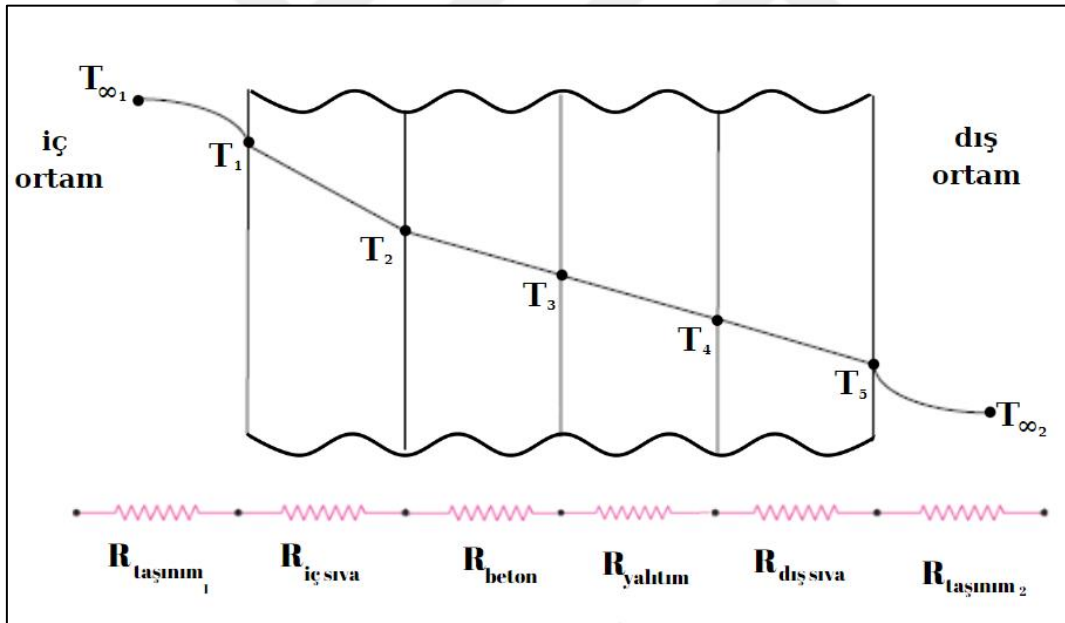
Duvar yüzeyleri ile iç ve dış hava arasında ışınlı ısı transferi ihmal edilmektedir. Bu sebeple taşınım ısı transferi gerçekleşeceğinden, taşınım direncini hesaplayabilmek için kullanılacak olan Newton Soğutma Kanunu Denklem 2.7’de görülmektedir.

$$\dot{Q}_{\text{taşınım}} = hA_s(T_s - T_{\infty}) \quad (\text{W}) \quad (2.7)$$

Burada “h” ısı taşınım katsayısını (W/m²°C), “A_s” ısı transferine dik yüzey alanını (m²), “T_s” yüzey sıcaklığını (°C), “T_∞” ise yüzeyden yeteri kadar uzaktaki sıcaklığı (°C) ifade etmektedir.

Newton Soğutma Kanunu’ndan elde edilen iç ve dış duvar yüzeylerinde oluşacak ısı taşınım direnci Denklem 2.8’de görülmektedir.

$$R_{\text{taşınım}} = \frac{1}{hA_s} \quad (^\circ\text{C/W}) \quad (2.8)$$



Şekil 2.1.5. Duvar bileşenlerinde oluşan ısıl direncin şematik gösterimi

Şekil 2.8’de gösterilen seri bağlı direnç modelinde eşdeğer direnç hesaplanarak iç ve dış hava sıcaklıkları farkına oranlandığında ısı transfer hızı denklem 2.9’da gösterilmektedir.

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{\text{taşınım},1} + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_{\text{taşınım},2}} \quad (2.9)$$

Denklem 2.9’da “ $R_{\text{taşınım},1}$ ” iç hava ile iç duvar yüzeyi arasındaki taşınım direncini, “ R_1 ” iç sıva bileşeninin ısı geçişine karşı oluşturduğu direnci, “ R_2 ” beton (üretilen numuneler) bileşeninin ısı geçişine karşı oluşturduğu direnci, “ R_3 ” yalıtım malzemesi bileşeninin ısı geçişine karşı oluşturduğu direnci, “ R_4 ” dış sıva bileşeninin ısı geçişine karşı oluşturduğu direnci, “ $R_{\text{taşınım},2}$ ” dış hava ile dış duvar yüzeyi arasındaki taşınım direncini ifade etmektedir.

Denklem 2.10’da ısı akısı formülü verilmektedir.

$$q = \frac{\dot{Q}}{A} \quad (2.10)$$

Tablo 2.9’da üretilen beton ve şap numunelerinin bir binada enerji tasarrufu konusunda nasıl bir etki gösterdiğini kıyaslayabilmek amacıyla örnek bir binanın ölçüleri verilmiştir.

Tablo 2.1.1. Enerji hesabı için örnek olarak alınan binanın ölçüleri

Alan Adı	Ölçüsü (m ²)
Pencere	20
Betonarme	13,7
Dış duvar	173,3
Tavan	90
Taban	90
Dış kapı	2
Toplam alan	389
Brüt hacim (m ³)	495

Tablo 2.9’da verilen ölçülerle birlikte TS 825 Standardı’nda verilen hesap metodu kullanılarak üretilen her bir numune için ısı enerjisi ihtiyacı hesaplanmıştır.

Tablo 2.10’da örnek olarak alınan binanın yapı bileşenlerinde beton kontrol ve şap kontrol numunesi kullanılarak yapılan özgül ısı kaybı hesabı gösterilmektedir.

Tablo 2.1.2. Beton kontrol ve şap kontrol numunesi değerleri ile binanın özgül ısı kaybı

1	2	3	4	5	6	7	8
Isı Kaybı Gerçekleşen Yapı Bileşeni	Binada Bulunan Yapı Bileşenleri	Yapı Bileşeni Kalınlığı d (m)	Isıl İletkenlik Katsayısı k, (W/m²K)	Isıl İletkenlik Direnci R, (m²K/W)	Toplam Isı Transferi Katsayısı U, (W/m²K)	Isı Transferine Dik Yüzey Alanı A, (m²)	Yapı Bileşeninin Toplam Isı Kaybı A x U (W/K)
Duvar Yüzeyleri	R _i			0,13	0,471	173,3	81,69
	Sıva	0,02	1,00	0,02			
	DD taşıyıcı tuğla	0,24	0,50	0,48			
	Isı yalıtım malzemesi	0,05	0,04	1,429			
	Sıva	0,01	0,35	0,023			
	R _e			0,04			
Toplam				2,12	0,471	173,3	81,69
Duvar Yüzeyleri (Betonarme)	R _i			0,13	0,660	13,7	9,0447
	Sıva	0,02	0,72	0,0278			
	Betonarme	0,24	2,4326	0,0987			
	Isı yalıtım malzemesi	0,05	0,04	1,1905			
	Sıva	0,02	0,72	0,0278			
	R _e			0,04			
Toplam				1,51	0,660	13,7	9,0447
Tavan	R _i			0,13	0,305 x 0,8	90	21,96
	Sıva	0,02	1,00	0,020			
	Betonarme	0,12	2,50	0,048			
	Isı yalıtım malzemesi	0,12	0,04	3,0			
	R _e			0,08			
Toplam				3,28	0,305 x 0,8	90	21,96
Taban Döşeme	R _i			0,17	0,573 x 0,5	90	25,8
	PVC yer döşemesi	0,01	0,23	0,02			
	Şap	0,03	1,5467	0,02			
	Isı yalıtım malzemesi	0,05	0,04	1,39			
	Tesviye şapı	0,02	1,5467	0,01			
	Hafif beton	0,10	1,10	0,09			
	R _e			0,04			
Toplam				1,7439	0,573 x 0,5	90	25,8
Dış kapı					4	2	8
Pencere					2,4	20	48
Yapı elemanlarından iletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kaybı toplamı							194,49
Σ AU = 194.49 W/K							
H = H _T + H _V = 194.49+ 104.54 = 299.03 W/K							

Tablo 2.11’de örnek olarak alınan bina için hesaplanan özgül ısı kaybı değeri kullanılarak TS 825 Standardı’na göre iç ısı ve güneş enerjisi kazançlarını da hesaba katarak beton kontrol ve şap kontrol numunelerinin kullanıldığı örnek binanın 3. derece gün bölgesinde yıllık ısı enerjisi ihtiyacı hesabı görülmektedir.

Tablo 2.1.3. Beton kontrol ve şap kontrol numunesi değerleri ile binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı

Aylar	Isı kaybı			Isı kazançları			KKO	Kazanç Kullanım Faktörü	Isı Enerjisi İhtiyacı
	Özgül Isı Kaybı	Sıcaklık Farkı	Isı Kayıpları	İç Isı Kazancı	Güneş Enerjisi Kazancı	Toplam			
	$H = H_T + H_v$	$T_2 - T_1$	$H(T_2 - T_1)$	ϕ_i	ϕ_s	$\phi_T = \phi_i + \phi_s$			
	(W/K)	(K, °C)	(W)	(W)	(W)	(W)			
Ocak	299,03	19,3	5771,279	792	492	1284	0,22248	0,99	11668193,36
Şubat	299,03	19,1	5711,473	792	612	1404	0,24582	0,98	11227241,86
Mart	299,03	14,9	4455,547	792	760	1552	0,34833	0,94	7753889,317
Nisan	299,03	8,9	2661,367	792	791	1583	0,59481	0,81	3558914,622
Mayıs	299,03	4,6	1375,538	792	943	1735	1,26132	0,55	1103526,917
Haziran	299,03	0,5	149,515	792	993	1785	11,9386	0,00	0
Temmuz	299,03	T_1 yüksektir	0	792	966	1758	0	0,00	0
Ağustos	299,03	T_1 yüksektir	0	792	904	1696	0	0,00	0
Eylül	299,03	1,8	538,254	792	762	1554	2,88711	0,00	0
Ekim	299,03	7,4	2212,822	792	618	1410	0,6372	0,79	2841735,049
Kasım	299,03	13,4	4007,002	792	467	1259	0,3142	0,96	7258164,733
Aralık	299,03	17,7	5292,831	792	430	1222	0,23088	0,99	10593247,56
$Q_{ay} = [H(T_2 - T_1) - \eta(\phi_{i,ay} + \phi_{g,ay})] \cdot t \text{ (J)} \quad (1 \text{ kJ} = 0,278 \times 10^{-3} \text{ kWh})$							$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} =$		56004913,42
Toplam ısı kaybı $Q_{yıl} = 0,278 \times 10^{-3} \times 56004913,42 \text{ (kJ)} = 15569,37 \text{ kWh}$									

Tablo 2.12’de örnek olarak alınan binanın yapı bileşenlerinde %5 agregası kulak tıkaçı ile değiştirilmiş beton ve şap kontrol numunesi kullanılarak yapılan özgül ısı kaybı hesabı gösterilmektedir.

Tablo 2.1.4. %5 agregası kulak tıkaçı ile değiştirilmiş beton ve şap kontrol numunesi değerleri ile binanın özgül ısı kaybı

1	2	3	4	5	6	7	8
Isı Kaybı Gerçekleşen Yapı Bileşeni	Binada Bulunan Yapı Bileşenleri	Yapı Bileşeni Kalınlığı d (m)	Isıl İletkenlik Katsayısı k , (W/m ² K)	Isıl İletkenlik Direnci R , (m ² K/W)	Toplam Isı Transferi Katsayısı U , (W/m ² K)	Isı Transferine Dik Yüzey Alanı A , (m ²)	Yapı Bileşeninin Toplam Isı Kaybı $A \times U$ (W/K)
Duvar Yüzeyleri	R_1			0,13	0,471	173,3	81,69
	Sıva	0,02	1,00	0,02			
	DD taşıyıcı tuğla	0,24	0,50	0,48			
	Isı yalıtım malzemesi	0,05	0,04	1,429			
	Sıva	0,01	0,35	0,023			
	R_e			0,04			
Toplam				2,12	0,471	173,3	81,69
Duvar Yüzeyleri (Betonarme)	R_1			0,13	0,656	13,7	8,993
	Sıva	0,02	0,72	0,0278			
	Betonarme	0,24	2,2348	0,1074			
	Isı yalıtım malzemesi	0,05	0,04	1,1905			
	Sıva	0,02	0,72	0,0278			
	R_e			0,04			
Toplam				1,52	0,656	13,7	8,993
Tavan	R_1			0,13	0,305 x 0,8	90	21,96
	Sıva	0,02	1,00	0,020			
	Betonarme	0,12	2,50	0,048			
	Isı yalıtım malzemesi	0,12	0,04	3,0000			
	R_e			0,08			
Toplam				3,28	0,305 x 0,8	90	21,96
Taban/Döşeme	R_1			0,17	0,573 x 0,5	90	25,8
	PVC yer döşemesi	0,01	0,23	0,0217			
	Şap	0,03	1,5467	0,02			
	Isı yalıtım malzemesi	0,05	0,04	1,39			
	Tesviye şapı	0,02	1,5467	0,013			
	Hafif beton	0,10	1,10	0,091			
	R_e			0,04			
Toplam				1,744	0,573 x 0,5	90	25,8
Dış kapı					4	2	8
Pencere					2,4	20	48
Yapı elemanlarından iletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kaybı toplamı							194,44
$\Sigma AU = 194,44$ W/K							
$H = H_T + H_v = 194,44 + 104,54 = 298,98$ W/K							

Tablo 2.13'te örnek olarak alınan bina için hesaplanan özgül ısı kaybı değeri kullanılarak TS 825 Standardı'na göre iç ısı ve güneş enerjisi kazançlarını da hesaba katarak %5 agregası kulak tıkaçı ile değiştirilmiş beton ve şap kontrol numunelerinin kullanıldığı örnek binanın 3. derece gün bölgesinde yıllık ısı enerjisi ihtiyacı hesabı görülmektedir.

Tablo 2.1.5. %5 agregası kulak tıkaçı ile değiştirilmiş beton ve şap kontrol numunesi değerleri ile binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı

Aylar	Isı kaybı			Isı kazançları			KKO	Kazanç Kullanım Faktörü	Isı Enerjisi İhtiyacı
	Özgül Isı Kaybı	Sıcaklık Farkı	Isı Kayıpları	İç Isı Kazancı	Güneş Enerjisi	Toplam			
	$H = H_T + H_v$	$T_2 - T_1$	$H(T_2 - T_1)$	ϕ_i	ϕ_s	$\phi_T = \phi_i + \phi_s$			
	(W/K)	(K, °C)	(W)	(W)	(W)	(W)			
Ocak	298,98	19,3	5770,314	792	492	1284	0,22251822	0,99	11665720,02
Şubat	298,98	19,1	5710,518	792	612	1404	0,245862109	0,98	11224808,87
Mart	298,98	14,9	4454,802	792	760	1552	0,348388099	0,94	7752067,699
Nisan	298,98	8,9	2660,922	792	791	1583	0,594906577	0,81	3557975,922
Mayıs	298,98	4,6	1375,308	792	943	1735	1,261535598	0,55	1103200,577
Haziran	298,98	0,5	149,49	792	993	1785	11,94059803	0,00	0
Temmuz	298,98	<i>T1 yüksek</i>	0	792	966	1758	0	0,00	0
Ağustos	298,98	<i>T1 yüksek</i>	0	792	904	1696	0	0,00	0
Eylül	298,98	1,8	538,164	792	762	1554	2,887595603	0,00	0
Ekim	298,98	7,4	2212,452	792	618	1410	0,637301962	0,79	2840975,683
Kasım	298,98	13,4	4006,332	792	467	1259	0,314252538	0,96	7256500,138
Aralık	298,98	17,7	5291,946	792	430	1222	0,230916944	0,99	10590983,82
$Q_{ay} = [H(T_2 - T_1) - \eta(\phi_{i,ay} + \phi_{g,ay})] \cdot t \text{ (J)} \quad (1 \text{ kJ} = 0.278 \times 10^{-3} \text{ kWh})$							$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} =$		55992232,73
Toplam ısı kaybı $Q_{yıl} = 0,278 \times 10^{-3} \times 55992232,73 \text{ (kJ)} = 15565,84 \text{ kWh}$									

Tablo 2.14'te örnek olarak alınan binanın yapı bileşenlerinde %10 agregası kulak tıkaçı ile değiştirilmiş beton ve şap kontrol numunesi kullanılarak yapılan özgül ısı kaybı hesabı gösterilmektedir.

Tablo 2.1.6. %10 agregası kulak tıkaçı ile değiştirilmiş beton ve şap kontrol numunesi değerleri ile binanın özgül ısı kaybı

1	2	3	4	5	6	7	8
Isı Kaybı Gerçekleşen Yapı Bileşeni	Binada Buhanan Yapı Bileşenleri	Yapı Bileşeni Kalınlığı d (m)	Isıl İletkenlik Katsayısı k , (W/m ² K)	Isıl İletkenlik Direnci R , (m ² K/W)	Toplam Isı Transferi Katsayısı U , (W/m ² K)	Isı Transferine Dik Yüzey Alanı A , (m ²)	Yapı Bileşeninin Toplam Isı Kaybı $A \times U$ (W/K)
Duvar Yüzeyleri	R_i			0,13			
	S_{va}	0,02	1,00	0,02			
	DD taşıyıcı tuğla	0,24	0,50	0,48			
	Isı yalıtım malzemesi	0,05	0,04	1,429			
	S_{va}	0,01	0,35	0,023			
	R_e			0,04			
Toplam				2,12	0,471	173,3	81,69
Duvar Yüzeyleri (Betonarme)	R_i			0,13			
	S_{va}	0,02	0,72	0,0278			
	Betonarme	0,24	2,1292	0,1127			
	Isı yalıtım malzemesi	0,05	0,04	1,1905			
	S_{va}	0,02	0,72	0,0278			
	R_e			0,04			
Toplam				1,53	0,654	13,7	8,962
Tavan	R_i			0,13			
	S_{va}	0,02	1,00	0,020			
	Betonarme	0,12	2,50	0,048			
	Isı yalıtım malzemesi	0,12	0,04	3,0000			
	R_e			0,08			
Toplam				3,28	0,305 x 0,8	90	21,96
Taban/Döşeme	R_i			0,17			
	PVC yer döşemesi	0,01	0,23	0,0217			
	Şap	0,03	1,5467	0,02			
	Isı yalıtım malzemesi	0,05	0,04	1,39			
	Tesviye şapı	0,02	1,5467	0,013			
	Hafif beton	0,10	1,10	0,091			
	R_e			0,04			
Toplam				1,744	0,573 x 0,5	90	25,8
Dış kapı					4	2	8
Pencere					2,4	20	48
Yapı elemanlarından iletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kaybı toplamı							194,412
$\Sigma AU = 194,412 \text{ W/K}$							
$H = H_T + H_v = 194,412 + 104,54 = 298,952 \text{ W/K}$							

Tablo 2.15’de örnek olarak alınan bina için hesaplanan özgül ısı kaybı değeri kullanılarak TS 825 Standardı’na göre iç ısı ve güneş enerjisi kazançlarını da hesaba katarak %10 agregası kulak tıkaçı ile değiştirilmiş beton ve şap kontrol numunelerinin kullanıldığı örnek binanın 3. derece gün bölgesinde yıllık ısı enerjisi ihtiyacı hesabı görülmektedir.

Tablo 2.1.7. %10 agregası kulak tıkaçı ile değiştirilmiş beton ve şap kontrol numunesi değerleri ile binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı

Aylar	Isı kaybı			Isı kazançları			KKO	Kazanç Kullanım Faktörü	Isı Enerjisi İhtiyacı
	Özgül Isı Kaybı	Sıcaklık Farkı	Isı Kayıpları	İç Isı Kazancı	Güneş Enerjisi	Toplam			
	$H = H_T + H_v$	$T_2 - T_1$	$H(T_2 - T_1)$	ϕ_i	ϕ_s	$\phi_T = \phi_i + \phi_s$			
	(W/K)	(K, °C)	(W)	(W)	(W)	(W)			
Ocak	298,952	19,3	5769,7736	792	492	1284	0,222539061	0,99	11664334,96
Şubat	298,952	19,1	5709,9832	792	612	1404	0,245885137	0,98	11223446,41
Mart	298,952	14,9	4454,3848	792	760	1552	0,348420729	0,94	7751047,616
Nisan	298,952	8,9	2660,6728	792	791	1583	0,594962297	0,81	3557450,276
Mayıs	298,952	4,6	1375,1792	792	943	1735	1,261653754	0,55	1103017,843
Haziran	298,952	0,5	149,476	792	993	1785	11,9417164	0,00	0
Temmuz	298,952	<i>T1 yüksek</i>	0	792	966	1758	0	0,00	0
Ağustos	298,952	<i>T1 yüksek</i>	0	792	904	1696	0	0,00	0
Eylül	298,952	1,8	538,1136	792	762	1554	2,887866057	0,00	0
Ekim	298,952	7,4	2212,2448	792	618	1410	0,637361652	0,79	2840550,461
Kasım	298,952	13,4	4005,9568	792	467	1259	0,314281971	0,96	7255567,981
Aralık	298,952	17,7	5291,4504	792	430	1222	0,230938572	0,99	10589716,13
$Q_{ay} = [H(T_2 - T_1) - \eta(\phi_{i,ay} + \phi_{g,ay})] \cdot t \text{ (J)} \quad (1 \text{ kJ} = 0.278 \times 10^{-3} \text{ kWh})$							$Q_{yıl} = \sum Q_{ay} =$		55985131,68
Toplam ısı kaybı $Q_{yıl} = 0.278 \times 10^{-3} \times 55985131,68 \text{ (kJ)} = 15563,87 \text{ kWh}$									

Tablo 2.16’da örnek olarak alınan binanın yapı bileşenlerinde %15 agregası kulak tıkaçı ile değiştirilmiş beton ve şap kontrol numunesi kullanılarak yapılan özgül ısı kaybı hesabı gösterilmektedir.

Tablo 2.1.8. %15 agregası kulak tıkaçı ile değiştirilmiş beton ve şap kontrol numunesi değerleri ile binanın özgül ısı kaybı

1	2	3	4	5	6	7	8
Isı Kaybı Gerçekleşen Yapı Bileşeni	Binada Bulunan Yapı Bileşenleri	Yapı Bileşeni Kalınlığı d (m)	Isıl İletkenlik Katsayısı k, (W/m²K)	Isıl İletkenlik Direnci R, (m²K/W)	Toplam Isı Transferi Katsayısı U, (W/m²K)	Isı Transferine Dik Yüzey Alanı A, (m²)	Yapı Bileşeninin Toplam Isı Kaybı A _x U (W/K)
Duvar Yüzeyleri	R _i			0,13			
	Sıva	0,02	1,00	0,02			
	DD taşıyıcı tuğla	0,24	0,50	0,48			
	Isı yalıtım malzemesi	0,05	0,04	1,429			
	Sıva	0,01	0,35	0,023			
	R _e			0,04			
Toplam				2,12	0,471	173,3	81,69
Duvar Yüzeyleri (Betonarme)	R _i			0,13			
	Sıva	0,02	0,72	0,0278			
	Betonarme	0,24	2,1081	0,1138			
	Isı yalıtım malzemesi	0,05	0,04	1,1905			
	Sıva	0,02	0,72	0,0278			
	R _e			0,04			
Toplam				1,53	0,654	13,7	8,9550
Tavan	R _i			0,13			
	Sıva	0,02	1,00	0,020			
	Betonarme	0,12	2,50	0,048			
	Isı yalıtım malzemesi	0,12	0,04	3,0			
	R _e			0,08			
	Toplam						
Taban/Döşeme	R _i			0,17			
	PVC yer döşemesi	0,01	0,23	0,0217			
	Şap	0,03	1,5467	0,02			
	Isı yalıtım malzemesi	0,05	0,04	1,39			
	Tesviye şapı	0,02	1,5467	0,013			
	Hafif beton	0,10	1,10	0,091			
	R _e			0,04			
Toplam				1,744	0,573 x 0,5	90	25,8
Dış kapı					4	2	8
Pencere					2,4	20	48
Yapı elemanlarından iletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kaybı toplamı							194,405
Σ AU = 194,405 W/K							
H = H _T + H _V = 194,405+ 104,54 = 298,945 W/K							

Tablo 2.17’de örnek olarak alınan bina için hesaplanan özgül ısı kaybı değeri kullanılarak TS 825 Standardı’na göre iç ısı ve güneş enerjisi kazançlarını da hesaba katarak %15 agregası kulak tıkaçı ile değiştirilmiş beton ve şap kontrol numunelerinin kullanıldığı örnek binanın 3. derece gün bölgesinde yıllık ısı enerjisi ihtiyacı hesabı görülmektedir.

Tablo 2.1.9. %15 agregası kulak tıkaçı ile değiştirilmiş beton ve şap kontrol numunesi değerleri ile binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı

Aylar	Isı kaybı			Isı kazançları			KKO	Kazanç Kullanım Faktörü	Isı Enerjisi İhtiyacı
	Özgül Isı Kaybı	Sıcaklık Farkı	Isı Kayıpları	İç Isı Kazancı	Güneş Enerjisi	Toplam			
	$H = H_T + H_v$	$T_2 - T_1$	$H(T_2 - T_1)$	ϕ_i	ϕ_s	$\phi_T = \phi_i + \phi_s$			
	(W/K)	(K, °C)	(W)	(W)	(W)	(W)			
Ocak	298,945	19,3	5769,6385	792	492	1284	0,222544272	0,99	11663988,69
Şubat	298,945	19,1	5709,8495	792	612	1404	0,245890894	0,98	11223105,8
Mart	298,945	14,9	4454,2805	792	760	1552	0,348428888	0,94	7750792,597
Nisan	298,945	8,9	2660,6105	792	791	1583	0,594976228	0,81	3557318,868
Mayıs	298,945	4,6	1375,147	792	943	1735	1,261683296	0,55	1102972,161
Haziran	298,945	0,5	149,4725	792	993	1785	11,94199602	0,00	0
Temmuz	298,945	T_1 yüksek	0	792	966	1758	0	0,00	0
Ağustos	298,945	T_1 yüksek	0	792	904	1696	0	0,00	0
Eylül	298,945	1,8	538,101	792	762	1554	2,887933678	0,00	0
Ekim	298,945	7,4	2212,193	792	618	1410	0,637376576	0,79	2840444,158
Kasım	298,945	13,4	4005,863	792	467	1259	0,31428933	0,96	7255334,944
Aralık	298,945	17,7	5291,3265	792	430	1222	0,23094398	0,99	10589399,21
$Q_{ay} = [H(T_2 - T_1) - \eta(\phi_{i,ay} + \phi_{g,ay})] \cdot t \text{ (J)} \quad (1 \text{ kJ} = 0.278 \times 10^{-3} \text{ kWh})$							$Q_{yıl} = \sum Q_{ay} =$		55983356,43
Toplam ısı kaybı $Q_{yıl} = 0,278 \times 10^{-3} \times 55983356,43 \text{ (kJ)} = 15563,37 \text{ kWh}$									

Tablo 2.18’de örnek olarak alınan binanın yapı bileşenlerinde %20 agregası kulak tıkaçı ile değiştirilmiş beton ve şap kontrol numunesi kullanılarak yapılan özgül ısı kaybı hesabı gösterilmektedir.

Tablo 2.1.10. %20 agregası kulak tıkaçı ile değiştirilmiş beton ve şap kontrol numunesi değerleri ile binanın özgül ısı kaybı

1	2	3	4	5	6	7	8
Isı Kaybı Gerçekleşen Yapı Bileşeni	Binada Bulunan Yapı Bileşenleri	Yapı Bileşeni Kalınlığı d (m)	Isıl İletkenlik Katsayısı k , (W/m ² K)	Isıl İletkenlik Direnci R , (m ² K/W)	Toplam Isı Transferi Katsayısı U , (W/m ² K)	Isı Transferine Dik Yüzey Alanı A , (m ²)	Yapı Bileşeninin Toplam Isı Kaybı $A \times U$ (W/K)
Duvar Yüzeyleri	R_i			0,13			
	Sıva	0,02	1,00	0,02			
	DD taşıyıcı tuğla	0,24	0,50	0,48			
	Isı yalıtım malzemesi	0,05	0,04	1,429			
	Sıva	0,01	0,35	0,023			
	R_e			0,04			
Toplam				2,12	0,471	173,3	81,69
Duvar Yüzeyleri (Betonarme)	R_i			0,13			
	Sıva	0,02	0,72	0,0278			
	Betonarme	0,24	2,0986	0,1144			
	Isı yalıtım malzemesi	0,05	0,04	1,1905			
	Sıva	0,02	0,72	0,0278			
	R_e			0,04			
Toplam				1,53	0,653	13,7	8,9519
Tavan	R_i			0,13			
	Sıva	0,02	1,00	0,020			
	Betonarme	0,12	2,50	0,048			
	Isı yalıtım malzemesi	0,12	0,04	3,0000			
	R_e			0,08			
Toplam				3,28	0,305 x 0,8	90	21,96
Taban/Döşeme	R_i			0,17			
	PVC yer döşemesi	0,01	0,23	0,0217			
	Şap	0,03	1,5467	0,02			
	Isı yalıtım malzemesi	0,05	0,04	1,39			
	Tesviye şapı	0,02	1,5467	0,013			
	Hafif beton	0,10	1,10	0,091			
	R_e			0,04			
Toplam				1,744	0,573 x 0,5	90	25,8
Dış kapı					4	2	8
Pencere					2,4	20	48
Yapı elemanlarından iletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kaybı toplamı							194,402
$\Sigma AU = 194,402 \text{ W/K}$							
$H = H_T + H_V = 194,402 + 104,54 = 298,942 \text{ W/K}$							

Tablo 2.19’da örnek olarak alınan bina için hesaplanan özgül ısı kaybı değeri kullanılarak TS 825 Standardı’na göre iç ısı ve güneş enerjisi kazançlarını da hesaba katarak %20 agregası kulak tıkaçı ile değiştirilmiş beton ve şap kontrol numunelerinin kullanıldığı örnek binanın 3. derece gün bölgesinde yıllık ısı enerjisi ihtiyacı hesabı görülmektedir.

Tablo 2.1.11. %20 agregası kulak tıkaçı ile değiştirilmiş beton ve şap kontrol numunesi değerleri ile binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı

Aylar	Isı kaybı			Isı kazançları			KKO	Kazanç Kullamm Faktörü	Isı Enerjisi İhtiyacı
	Özgül Isı Kaybı	Sıcaklık Farkı	Isı Kayıpları	İç Isı Kazanç	Güneş Enerjisi	Toplam			
	$H = H_T + H_r$	$T_2 - T_1$	$H(T_2 - T_1)$	ϕ_i	ϕ_s	$\phi_T = \phi_i + \phi_s$			
	(W/K)	(K, °C)	(W)	(W)	(W)	(W)			
Ocak	298,942	19,3	5769,5806	792	492	1284	0,222546505	0,99	11663840,30
Şubat	298,942	19,1	5709,7922	792	612	1404	0,245893362	0,98	11222959,82
Mart	298,942	14,9	4454,2358	792	760	1552	0,348432384	0,94	7750683,304
Nisan	298,942	8,9	2660,5838	792	791	1583	0,594982199	0,81	3557262,55
Mayıs	298,942	4,6	1375,1332	792	943	1735	1,261695958	0,55	1102952,584
Haziran	298,942	0,5	149,471	792	993	1785	11,94211586	0,00	0
Temmuz	298,942	T_1 yıl/ısık	0	792	966	1758	0	0,00	0
Ağustos	298,942	T_1 yıl/ısık	0	792	904	1696	0	0,00	0
Eylül	298,942	1,8	538,0956	792	762	1554	2,887962659	0,00	0
Ekim	298,942	7,4	2212,1708	792	618	1410	0,637382972	0,79	2840398,6
Kasım	298,942	13,4	4005,8228	792	467	1259	0,314292484	0,96	7255235,071
Aralık	298,942	17,7	5291,2734	792	430	1222	0,230946297	0,99	10589263,39
$Q_{ay} = [H(T_2 - T_1) - \eta(\phi_{i,ay} + \phi_{g,ay})] \cdot t$ (J) (1kJ = 0.278 x 10 ⁻³ kWh)							$Q_{yıl} = \sum Q_{ay} =$		55982595,62
Toplam ısı kaybı $Q_{yıl} = 0,278 \times 10^{-3} \times 55982595,62$ (kj) = 15563,16 kWh									

Tablo 2.20’de örnek olarak alınan binanın yapı bileşenlerinde %25 agregası kulak tıkaçı ile değiştirilmiş şap ve beton kontrol numunesi kullanılarak yapılan özgül ısı kaybı hesabı gösterilmektedir.

Tablo 2.1.12. %25 agregası kulak tıkaçı ile değiştirilmiş şap ve beton kontrol numunesi değerleri ile binanın özgül ısı kaybı

1	2	3	4	5	6	7	8
Isı Kaybı Gerçekleşen Yapı Bileşeni	Binada Bulunan Yapı Bileşenleri	Yapı Bileşeni Kalınlığı d (m)	Isıl İletkenlik Katsayısı k, (W/m ² K)	Isıl İletkenlik Direnci R, (m ² K/W)	Toplam Isı Transferi Katsayısı U, (W/m ² K)	Isı Transferine Dik Yüzey Alanı A, (m ²)	Yapı Bileşeninin Toplam Isı Kaybı A _x U (W/K)
Duvar Yüzeyleri	R _i			0,13			
	Sıva	0,02	1,00	0,02			
	DD taşıyıcı tuğla	0,24	0,50	0,48			
	Isı yalıtım malzemesi	0,05	0,04	1,429			
	Sıva	0,01	0,35	0,023			
	R _e			0,04			
Toplam				2,12	0,471	173,3	81,69
Duvar Yüzeyleri (Betonarme)	R _i			0,13			
	Sıva	0,02	0,72	0,0278			
	Betonarme	0,24	2,4326	0,0987			
	Isı yalıtım malzemesi	0,05	0,04	1,1905			
	Sıva	0,02	0,72	0,0278			
	R _e			0,04			
Toplam				1,51	0,660	13,7	9,0447
Tavan	R _i			0,13			
	Sıva	0,02	1,00	0,020			
	Betonarme	0,12	2,50	0,048			
	Isı yalıtım malzemesi	0,12	0,04	3,0000			
	R _e			0,08			
Toplam				3,28	0,305 x 0,8	90	21,96
Taban/Döşeme	R _i			0,17			
	PVC yer döşemesi	0,01	0,23	0,0217			
	Şap	0,03	1,2260	0,02			
	Isı yalıtım malzemesi	0,05	0,04	1,39			
	Tesviye şapı	0,02	1,2260	0,016			
	Hafif beton	0,10	1,10	0,091			
	R _e			0,04			
Toplam				1,752	0,571 x 0,5	90	25,68
Dış kapı					4	2	8
Pencere					2,4	20	48
Yapı elemanlarından iletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kaybı toplamı							194,375
Σ AU = 194,375 W/K							
H = H _T + H _v = 194,375+ 104,54 = 298,915 W/K							

Tablo 2.21’de örnek olarak alınan bina için hesaplanan özgül ısı kaybı değeri kullanılarak TS 825 Standardı’na göre iç ısı ve güneş enerjisi kazançlarını da hesaba katarak %25 agregası kulak tıkaçı ile değiştirilmiş şap ve beton kontrol numunelerinin kullanıldığı örnek binanın 3. derece gün bölgesinde yıllık ısı enerjisi ihtiyacı hesabı görülmektedir.

Tablo 2.1.13. %25 agregası kulak tıkaçı ile değiştirilmiş şap ve beton kontrol numunesi değerleri ile binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı

Aylar	Isı kaybı			Isı kazançları			KKO	Kazanç Kullanım Faktörü	Isı Enerjisi İhtiyacı
	Özgül Isı Kaybı	Sıcaklık Farkı	Isı Kayıpları	İç Isı Kazancı	Güneş Enerjisi	Toplam			
	$H = H_T + H_v$	$T_2 - T_1$	$H(T_2 - T_1)$	ϕ_i	ϕ_s	$\phi_T = \phi_i + \phi_s$			
	(W/K)	(K, °C)	(W)	(W)	(W)	(W)			
Ocak	298,915	19,3	5769,0595	792	492	1284	0,222566607	0,99	11662504,71
Şubat	298,915	19,1	5709,2765	792	612	1404	0,245915573	0,98	11221646,03
Mart	298,915	14,9	4453,8335	792	760	1552	0,348463857	0,94	7749699,674
Nisan	298,915	8,9	2660,3435	792	791	1583	0,595035942	0,81	3556755,702
Mayıs	298,915	4,6	1375,009	792	943	1735	1,261809923	0,55	1102776,39
Haziran	298,915	0,5	149,4575	792	993	1785	11,94319455	0,00	0
Temmuz	298,915	<i>T1 yüksek</i>	0	792	966	1758	0	0,00	0
Ağustos	298,915	<i>T1 yüksek</i>	0	792	904	1696	0	0,00	0
Eylül	298,915	1,8	538,047	792	762	1554	2,88822352	0,00	0
Ekim	298,915	7,4	2211,971	792	618	1410	0,637440545	0,79	2839988,586
Kasım	298,915	13,4	4005,461	792	467	1259	0,314320873	0,96	7254336,221
Aralık	298,915	17,7	5290,7955	792	430	1222	0,230967158	0,99	10588040,99
$Q_{ay} = [H(T_2 - T_1) - \eta(\phi_{i,ay} + \phi_{g,ay})] \cdot t \text{ (J)} \quad (1 \text{ kJ} = 0.278 \times 10^{-3} \text{ kWh})$							$Q_{yıl} = \sum Q_{ay} =$		55975748,30
Toplam ısı kaybı $Q_{yıl} = 0,278 \times 10^{-3} \times 55975748,30 \text{ (kJ)} = 15561,26 \text{ kWh}$									

Tablo 2.22’de örnek olarak alınan binanın yapı bileşenlerinde %50 agregası kulak tıkaçı ile değiştirilmiş şap ve beton kontrol numunesi kullanılarak yapılan özgül ısı kaybı hesabı gösterilmektedir.

Tablo 2.1.14. %50 agregası kulak tıkaçı ile değiştirilmiş şap ve beton kontrol numunesi değerleri ile binanın özgül ısı kaybı

1	2	3	4	5	6	7	8
Isı Kaybı Gerçekleşen Yapı Bileşeni	Binada Bulunan Yapı Bileşenleri	Yapı Bileşeni Kalınlığı d (m)	Isıl İletkenlik Katsayısı k, (W/m²K)	Isıl İletkenlik Direnci R, (m²K/W)	Toplam Isı Transferi Katsayısı U, (W/m²K)	Isı Transferine Dik Yüzey Alanı A, (m²)	Yapı Bileşeninin Toplam Isı Kaybı A x U (W/K)
Duvar Yüzeyleri	R _i			0,13			
	Sıva	0,02	1,00	0,02			
	DD taşıyıcı tuğla	0,24	0,50	0,48			
	Isı yalıtım malzemesi	0,05	0,04	1,429			
	Sıva	0,01	0,35	0,023			
	R _e			0,04			
Toplam				2,12	0,471	173,3	81,69
Duvar Yüzeyleri (Betonarme)	R _i			0,13			
	Sıva	0,02	0,72	0,0278			
	Betonarme	0,24	2,4326	0,0987			
	Isı yalıtım malzemesi	0,05	0,04	1,1905			
	Sıva	0,02	0,72	0,0278			
	R _e			0,04			
Toplam				1,51	0,660	13,7	9,0447
Tavan	R _i			0,13			
	Sıva	0,02	1,00	0,020			
	Betonarme	0,12	2,50	0,048			
	Isı yalıtım malzemesi	0,12	0,04	3,0000			
	R _e			0,08			
Toplam				3,28	0,305 x 0,8	90	21,96
Taban/Döşeme	R _i			0,17			
	PVC yer döşemesi	0,01	0,23	0,0217			
	Şap	0,03	0,8468	0,04			
	Isı yalıtım malzemesi	0,05	0,04	1,39			
	Tesviye şapı	0,02	0,8468	0,024			
	Hafif beton	0,10	1,10	0,091			
	R _e			0,04			
Toplam				1,771	0,565 x 0,5	90	25,41
Dış kapı					4	2	8
Pencere					2,4	20	48
Yapı elemanlarından iletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kaybı toplamı							194,105
Σ AU = 194,105 W/K							
H = H _T + H _v = 194,105+ 104,54 = 298,645 W/K							

Tablo 2.23'te örnek olarak alınan bina için hesaplanan özgül ısı kaybı değeri kullanılarak TS 825 Standardı'na göre iç ısı ve güneş enerjisi kazançlarını da hesaba katarak %50 agregası kulak tıkaçı ile değiştirilmiş şap ve beton kontrol numunelerinin kullanıldığı örnek binanın 3. derece gün bölgesinde yıllık ısı enerjisi ihtiyacı hesabı görülmektedir.

Tablo 2.1.15. %50 agregası kulak tıkaçı ile değiştirilmiş şap ve beton kontrol numunesi değerleri ile binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı

Aylar	Isı kaybı			Isı kazançları			KKO	Kazanç Kullanım Faktörü	Isı Enerjisi İhtiyacı
	Özgül Isı Kaybı	Sıcaklık Farkı	Isı Kayıpları	İç Isı Kazancı	Güneş Enerjisi	Toplam			
	$H = H_T + H_r$	$T_2 - T_1$	$H(T_2 - T_1)$	ϕ_i	ϕ_s	$\phi_T = \phi_i + \phi_s$			
	(W/K)	(K, °C)	(W)	(W)	(W)	(W)			
Ocak	298,645	19,3	5763,8485	792	492	1284	0,222767826	0,99	11649149,20
Şubat	298,645	19,1	5704,1195	792	612	1404	0,246137901	0,98	11208508,60
Mart	298,645	14,9	4449,8105	792	760	1552	0,348778897	0,94	7739864,214
Nisan	298,645	8,9	2657,9405	792	791	1583	0,595573904	0,81	3551688,189
Mayıs	298,645	4,6	1373,7670	792	943	1735	1,262950704	0,55	1101015,028
Haziran	298,645	0,5	149,32250	792	993	1785	11,9540	0,00	0
Temmuz	298,645	T_1 yüksek	0	792	966	1758	0	0,00	0
Ağustos	298,645	T_1 yüksek	0	792	904	1696	0	0,00	0
Eylül	298,645	1,8	537,561	792	762	1554	2,890834715	0,00	0
Ekim	298,645	7,4	2209,97	792	618	1410	0,638016845	0,79	2835889,284
Kasım	298,645	13,4	4001,8430	792	467	1259	0,314605046	0,96	7245348,340
Aralık	298,645	17,7	5286,0165	792	430	1222	0,231175972	0,99	10575817,31
$Q_{ay} = [H(T_2 - T_1) - \eta(\phi_{i,ay} + \phi_{g,ay})] \cdot t \text{ (J)} \quad (1 \text{ kJ} = 0.278 \times 10^{-3} \text{ kWh})$							$Q_{yıl} = \sum Q_{ay} =$		55907280,16
Toplam ısı kaybı $Q_{yıl} = 0,278 \times 10^{-3} \times 55907280,16 \text{ (kJ)} = 15542,22 \text{ kWh}$									

Tablo 2.24'te örnek olarak alınan binanın yapı bileşenlerinde %75 agregası kulak tıkaçı ile değiştirilmiş şap ve beton kontrol numunesi kullanılarak yapılan özgül ısı kaybı hesabı gösterilmektedir.

Tablo 2.1.16. %75 agregası kulak tıkaçı ile değiştirilmiş şap ve beton kontrol numunesi değerleri ile binanın özgül ısı kaybı

1	2	3	4	5	6	7	8
Isı Kaybı Gerçekleşen Yapı Bileşeni	Binada Bulunan Yapı Bileşenleri	Yapı Bileşeni Kalınlığı d (m)	Isıl İletkenlik Katsayısı k_e (W/m ² K)	Isıl İletkenlik Direnci R_e (m ² K/W)	Toplam Isı Transferi Katsayısı U, (W/m ² K)	Isı Transferine Dik Yüzey Alanı A, (m ²)	Yapı Bileşeninin Toplam Isı Kaybı A _x U (W/K)
Duvar Yüzeyleri	R _i			0,13			
	Sıva	0,02	1,00	0,02			
	DD taşıyıcı tuğla	0,24	0,50	0,48			
	Isı yalıtım malzemesi	0,05	0,04	1,429			
	Sıva	0,01	0,35	0,023			
	R _e			0,04			
Toplam				2,12	0,471	173,3	81,69
Duvar Yüzeyleri (Betonarme)	R _i			0,13			
	Sıva	0,02	0,72	0,0278			
	Betonarme	0,24	2,4326	0,0987			
	Isı yalıtım malzemesi	0,05	0,04	1,1905			
	Sıva	0,02	0,72	0,0278			
	R _e			0,04			
Toplam				1,51	0,660	13,7	9,0447
Tavan	R _i			0,13			
	Sıva	0,02	1,00	0,020			
	Betonarme	0,12	2,50	0,048			
	Isı yalıtım malzemesi	0,12	0,04	3,0000			
	R _e			0,08			
Toplam				3,28	0,305 x 0,8	90	21,96
Taban/Döşeme	R _i			0,17			
	PVC yer döşemesi	0,01	0,23	0,0217			
	Şap	0,03	0,4688	0,06			
	Isı yalıtım malzemesi	0,05	0,04	1,39			
	Tesviye şapı	0,02	0,4688	0,043			
	Hafif beton	0,10	1,10	0,091			
	R _e			0,04			
Toplam				1,818	0,550 x 0,5	90	24,752
Dış kapı					4	2	8
Pencere					2,4	20	48
Yapı elemanlarından iletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kaybı toplamı							193,447
Σ AU = 193,447 W/K							
H = H _T + H _y = 193,447+ 104,54 = 297,987 W/K							

Tablo 2.25’te örnek olarak alınan bina için hesaplanan özgül ısı kaybı değeri kullanılarak TS 825 Standardı’na göre iç ısı ve güneş enerjisi kazançlarını da hesaba katarak %75 agregası kulak tıkaçı ile değiştirilmiş şap ve beton kontrol numunelerinin kullanıldığı örnek binanın 3. derece gün bölgesinde yıllık ısı enerjisi ihtiyacı hesabı görülmektedir.

Tablo 2.1.17. %75 agregası tıkaç ile değiştirilmiş şap ve beton kontrol numunesi değerleri ile binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı

Aylar	Isı kaybı			Isı kazançları			KKO	Kazanç Kullanım Faktörü	Isı Enerjisi İhtiyacı
	Özgül Isı Kaybı	Sıcaklık Farkı	Isı Kayıpları	İç Isı Kazancı	Güneş Enerjisi	Toplam			
	$H = H_T + H_v$	$T_2 - T_1$	$H(T_2 - T_1)$	ϕ_i	ϕ_s	$\phi_T = \phi_i + \phi_s$			
	(W/K)	(K, °C)	(W)	(W)	(W)	(W)			
Ocak	297,987	19,3	5751,1491	792	492	1284	0,223259731	0,99	11616603,92
Şubat	297,987	19,1	5691,5517	792	612	1404	0,24668141	0,98	11176495,72
Mart	297,987	14,9	4440,0063	792	760	1552	0,349549054	0,94	7715901,28
Nisan	297,987	8,9	2652,0843	792	791	1583	0,59688902	0,81	3539345,865
Mayıs	297,987	4,6	1370,7402	792	943	1735	1,265739489	0,55	1096726,897
Haziran	297,987	0,5	148,9935	792	993	1785	11,98038841	0,00	0
Temmuz	297,987	T_1 yüksek	0	792	966	1758	0	0,00	0
Ağustos	297,987	T_1 yüksek	0	792	904	1696	0	0,00	0
Eylül	297,987	1,8	536,3766	792	762	1554	2,897218111	0,00	0
Ekim	297,987	7,4	2205,1038	792	618	1410	0,639425681	0,79	2825905,55
Kasım	297,987	13,4	3993,0258	792	467	1259	0,315299741	0,96	7223449,246
Aralık	297,987	17,7	5274,3699	792	430	1222	0,231686443	0,99	10546030,44
$Q_{ay} = [H(T_2 - T_1) - \eta(\phi_{i,ay} + \phi_{g,ay})] \cdot t \text{ (J)} \quad (1 \text{ kJ} = 0.278 \times 10^{-3} \text{ kWh})$							$Q_{yI} = \Sigma Q_{ay} =$		55740458,92
Toplam ısı kaybı $Q_{yI} = 0,278 \times 10^{-3} \times 55740458,92 \text{ (kj)} = 15495,85 \text{ kWh}$									

Tablo 2.26’da örnek olarak alınan binanın yapı bileşenlerinde %20 agregası kulak tıkaçı ile değiştirilmiş beton ve %75 agregası kulak tıkaçı ile değiştirilmiş şap numunesi kullanılarak yapılan özgül ısı kaybı hesabı gösterilmektedir.

Tablo 2.1.18. %20 agregası tıkaçla değiştirilmiş beton numunesi ve %75 agregası tıkaçla değiştirilmiş şap numunesi değerleri ile binanın özgül ısı kaybı

1	2	3	4	5	6	7	8
Isı Kaybı Gerçekleşen Yapı Bileşeni	Binada Bulunan Yapı Bileşenleri	Yapı Bileşeni Kalınlığı d (m)	Isıl İletkenlik Katsayısı k , (W/m ² K)	Isıl İletkenlik Direnci R, (m ² K/W)	Toplam Isı Transferi Katsayısı U, (W/m ² K)	Isı Transferine Dik Yüzey Alanı A, (m ²)	Yapı Bileşeninin Toplam Isı Kaybı $A \times U$ (W/K)
Duvar Yüzeyleri	R _i			0,13			
	Sıva	0,02	1,00	0,02			
	DD taşıyıcı tuğla	0,24	0,50	0,48			
	Isı yalıtım malzemesi	0,05	0,04	1,429			
	Sıva	0,01	0,35	0,023			
	R _e			0,04			
Toplam				2,12	0,471	173,3	81,69
Duvar Yüzeyleri (Betonarme)	R _i			0,13			
	Sıva	0,02	0,72	0,0278			
	Betonarme	0,24	2,0986	0,1144			
	Isı yalıtım malzemesi	0,05	0,04	1,1905			
	Sıva	0,02	0,72	0,0278			
	R _e			0,04			
Toplam				1,53	0,653	13,7	8,9519
Tavan	R _i			0,13			
	Sıva	0,02	1,00	0,020			
	Betonarme	0,12	2,50	0,048			
	Isı yalıtım malzemesi	0,12	0,04	3,0000			
	R _e			0,08			
Toplam				3,28	0,305 x 0,8	90	21,96
Taban/Döşeme	R _i			0,17			
	PVC yer döşemesi	0,01	0,23	0,0217			
	Şap	0,03	0,4688	0,06			
	Isı yalıtım malzemesi	0,05	0,04	1,39			
	Tesviye şapı	0,02	0,4688	0,043			
	Hafif beton	0,10	1,10	0,091			
	R _e			0,04			
Toplam				1,818	0,550 x 0,5	90	24,752
Dış kapı					4	2	8
Pencere					2,4	20	48
Yapı elemanlarından iletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kaybı toplamı							193,354
Σ AU = 193,354 W/K							
H = H _T + H _V = 193,354 + 104,54 = 297,894 W/K							

Tablo 2.27’deörnek olarak alınan bina için hesaplanan özgül ısı kaybı değeri kullanılarak TS 825 Standardı’na göre iç ısı ve güneş enerjisi kazançlarını da hesaba katarak %20 agregası kulak tıkaçı ile değiştirilmiş beton ve %75 agregası kulak tıkaçı ile değiştirilmiş şap numunesi numunelerinin kullanıldığı örnek binanın 3. derece gün bölgesinde yıllık ısı enerjisi ihtiyacı hesabı görülmektedir.

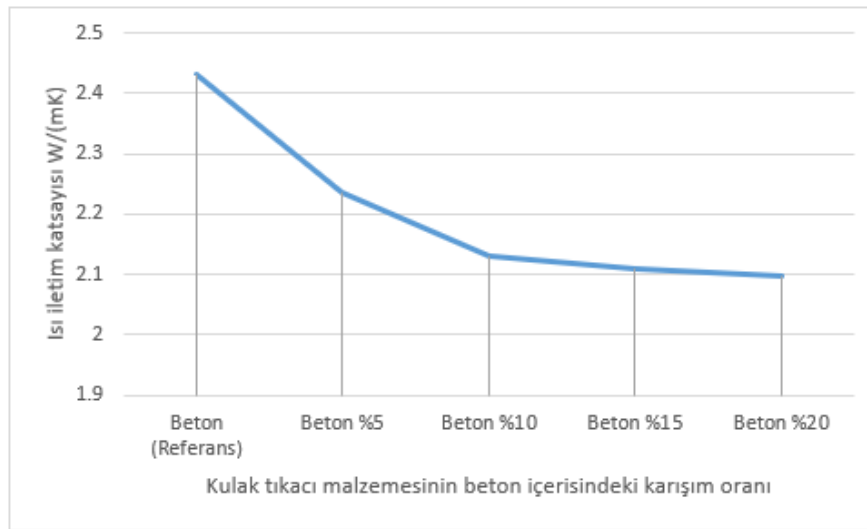
Tablo 2.1.19. %20 agregası tıkaçla değiştirilmiş beton numunesi ve %75 agregası tıkaçla değiştirilmiş şap numunesi değerleri ile binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı

Aylar	Isı kaybı			Isı kazançları			KKO	Kazanç Kullanım Faktörü	Isı Enerjisi İhtiyacı
	Özgül Isı Kaybı	Sıcaklık Farkı	Isı Kayıpları	İç Isı Kazancı	Güneş Enerjisi	Toplam			
	$H = H_T + H_r$	$T_2 - T_1$	$H(T_2 - T_1)$	ϕ_i	ϕ_s	$\phi_T = \phi_i + \phi_s$			
	(W/K)	(K, °C)	(W)	(W)	(W)	(W)			
Ocak	297,894	19,3	5749,3542	792	492	1284	0,223329431	0,99	11612004,35
Şubat	297,894	19,1	5689,7754	792	612	1404	0,246758422	0,98	11171971,51
Mart	297,894	14,9	4438,6206	792	760	1552	0,34965818	0,94	7712515,162
Nisan	297,894	8,9	2651,2566	792	791	1583	0,597075364	0,81	3537602,28
Mayıs	297,894	4,6	1370,3124	792	943	1735	1,266134642	0,55	1096121,325
Haziran	297,894	0,5	148,947	792	993	1785	11,98412858	0,00	0
Temmuz	297,894	<i>T1 yüksek</i>	0	792	966	1758	0	0,00	0
Ağustos	297,894	<i>T1 yüksek</i>	0	792	904	1696	0	0,00	0
Eylül	297,894	1,8	536,2092	792	762	1554	2,898122598	0,00	0
Ekim	297,894	7,4	2204,4156	792	618	1410	0,639625305	0,79	2824495,21
Kasım	297,894	13,4	3991,7796	792	467	1259	0,315398175	0,96	7220354,626
Aralık	297,894	17,7	5272,7238	792	430	1222	0,231758773	0,99	10541820,75
$Q_{ay} = [H(T_2 - T_1) - \eta(\phi_{i,ay} + \phi_{g,ay})] \cdot t$ (J) (1kJ = 0.278 x 10 ⁻³ kWh)							$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} =$		55716885,22
Toplam ısı kaybı $Q_{yıl} = 0,278 \times 10^{-3} \times 55716885,22$ (kj) = 15489,30 kWh									

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu kısımda değişik yüzdelerde kulak tıkacı malzemesi karıştırılarak üretilen beton ve şap numunelerinin termal özellikleri, basınç dayanımları, bir duvar veya taban bileşeninde sıcaklık değişimlerine verdikleri tepkiler ve 3. derece gün bölgesinde örnek bir binada kullanıldıklarında elde edilecek ısı enerjisi grafiksel olarak verilmektedir.

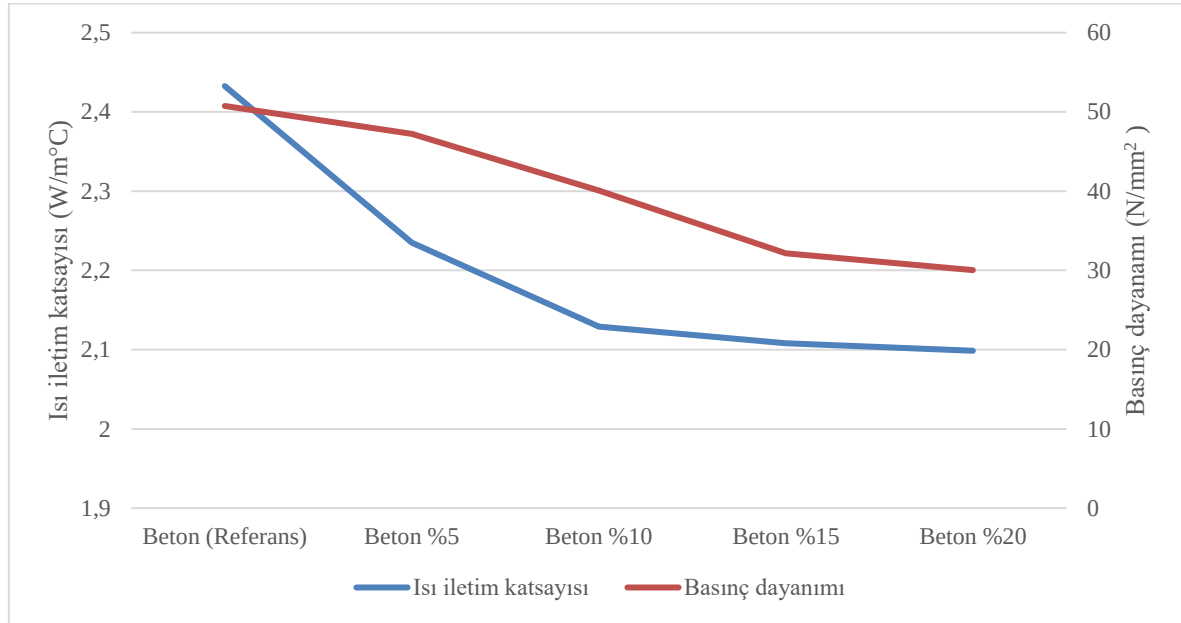
Kulak tıkacı katkısız referans beton ve %5, %10, %15 ve %20 kulak tıkacı katkılı beton numunelerinin ölçülen ısı iletim katsayısı değerleri Şekil 3.1'deki grafikte görülmektedir.



Şekil 3.1. Kulak tıkacı malzemesinin beton içerisindeki karışım oranına göre ısı iletim katsayısı değerleri

Şekil 3.1'deki grafik incelendiğinde, betonun ısı iletim katsayısı (k) değerinin kulak tıkacı oranı arttıkça azaldığı görülmektedir. Beton içerisindeki agreganın %5'ine kulak tıkacı konulduğunda ısı iletkenlik değerinin hızlı küçüldüğünü, %10 katkıda aynı hızlı küçülmeyi devam ettirdiğini, %15 ve %20 katkılı numunede ise değerlerin küçülme oranlarında azalma meydana geldiği görülmüştür. Beton kontrol numunesinin ısı iletim katsayısı 2,4326 W/mK olarak ölçülürken, agregası %20 oranında kulak tıkacı ile değiştirilen beton numunenin ısı iletim katsayısı değeri 2,0986 W/mK olarak ölçülmüştür. Bu durumda, %15 oranında agregası kulak tıkacı ile değiştirilmiş malzemeden sonra katkı oranında doygunluğa ulaşıldığı ve küçülme oranının azaldığı sonucu elde edilmiştir.

Şekil 3.2’deki grafikte referans beton ve farklı oranlarda kulak tıkacı eklenmiş beton numuneleri için kulak tıkacı oranı arttıkça ısı iletim katsayısı ve betonun basınç dayanımı değişimi görülmektedir.



Şekil 3.2. Kulak tıkacı malzemesinin beton içerisindeki karışım oranına göre ısı iletim katsayısı ve beton basınç dayanımı değerlerinin değişimi

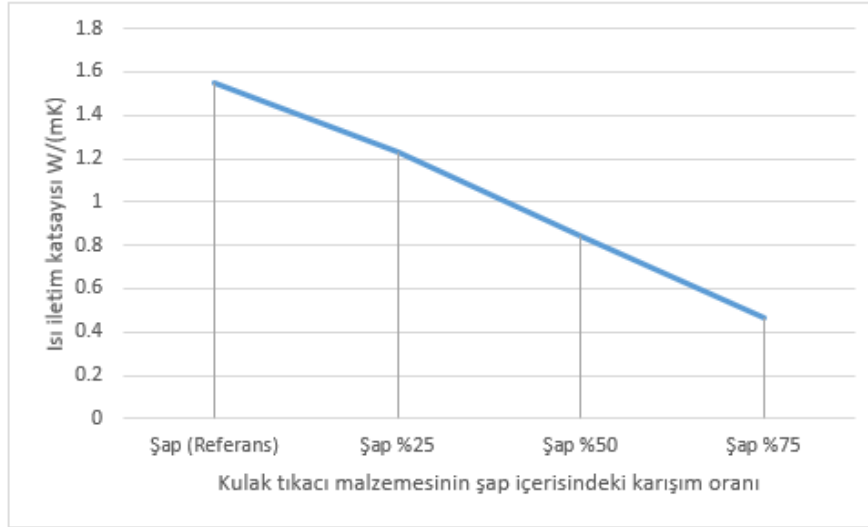
Şekil 3.2’deki grafikte görüldüğü gibi beton içerisinde kulak tıkacı katkı oranı arttıkça ısı iletim katsayısı ile betonun basınç dayanımında düşüş gerçekleşmektedir. Referans beton ile %20 kulak tıkacı katkılı beton numunesi arasında ısı iletim katsayısının yaklaşık olarak %16 oranında düştüğü, beton dayanımının ise yaklaşık olarak %68 oranında azaldığı görülmektedir.

Türk Standartları Enstitüsü tarafından hazırlanan TS 500 “Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları” Standardı’nda (URL-15, 2023) belirtilen ve Tablo 3.1’de gösterilen beton sınıfları ve dayanımları incelendiğinde, %20 oranında agregası kulak tıkacı ile değiştirilmiş beton numunesinin ölçülen değerinin TS 500 Standardı’nda belirtilen değerlere göre C30 beton sınıfına denk geldiği tespit edilmiştir.

Tablo 3.1. Beton sınıfları ve dayanımları (URL-12, 2023)

Beton Sınıfı	Karakteristik Basınç Dayanımı, f_{ck} MPa	Eşdeğer Küp (150 mm) Basınç Dayanımı MPa	Karakteristik Eksenel Çekme Dayanımı, f_{ctk} MPa	28 Günlük Elastisite Modülü, E_c MPa
C16	16	20	1,4	27000
C18	18	22	1,5	27500
C20	20	25	1,6	28000
C25	25	30	1,8	30000
C30	30	37	1,9	32000
C35	35	45	2,1	33000
C40	40	50	2,2	34000
C45	45	55	2,3	36000
C50	50	60	2,5	37000

Kulak tıkacı katkısız referans şap ve %25, %50 ve %75 kulak tıkacı katkılı şap numunelerinin ölçülen ısı iletim katsayısı değerleri Şekil 3.3'teki grafikte görülmektedir.



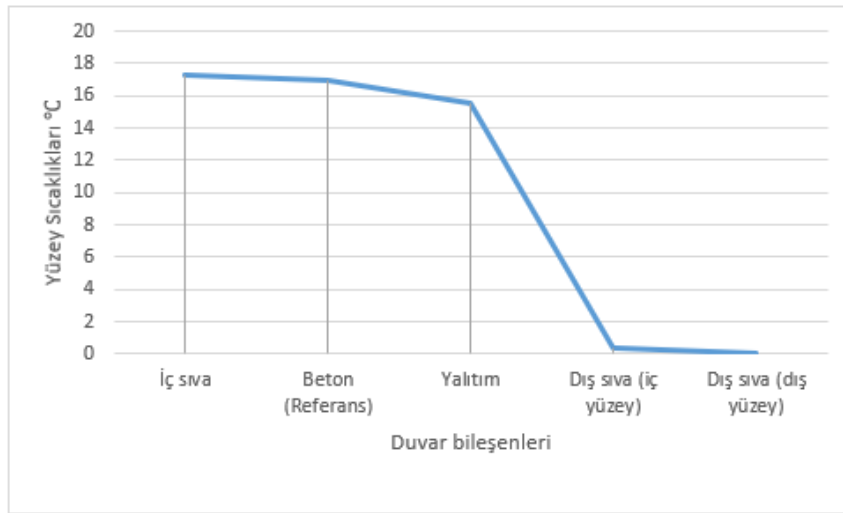
Şekil 3.3. Kulak tıkacı malzemesinin şap içerisindeki karışım oranına göre ısı iletim katsayısı değerleri

Şekil 3.3'teki grafik incelendiğinde ise, şapın ısı iletim katsayısı değerinin kulak tıkacı oranı arttıkça azaldığı görülmekte ve beton numunenin aksine şap içerisindeki agreganın oranı arttıkça ısı iletkenlik değeri hızlı ve nispeten düzenli bir şekilde

küçültülmektedir. Şap kontrol numunesinin ısı iletim katsayısı 1,5467 W/mK olarak ölçülmüşken, agregası %75 oranında kulak tıkacı ile değıştirilen şap numunesinin ısı iletim katsayısı değeri 0,4688 W/mK olarak ölçülmüşür.

Isı iletim katsayısı (k) değerinin beton ve şap numunelerinde kulak tıkacı eklendikçe düşmesi, Fourier Isı İletim Kanunu'na göre, iletilen ısı enerjisiyle birlikte doğrudan ısı kaybı miktarının azaldığı sonucunu verir. Böylece ısı kaybı miktarının azalmasıyla, daha az ısınma enerjisine gereksinim duyulacaktır. Ayrıca doğaya daha az karbon salınımı gerçekleştirilecektir.

Şekil 3.4'teki grafikte, Şekil 2.2'de verilen duvar modeli kullanılarak yapılan duvar bileşenlerinde meydana gelen sıcaklık düşüş miktarları görülmektedir. Yapılan hesaplamalarda, dış hava sıcaklığı 3. derece gün bölgesi ortalamasına göre -0,3 °C, iç hava sıcaklığı da TS 825 Standardı'na göre 19 °C alınmıştır.



Şekil 3.4. Betonarme duvar bileşenlerinin yüzey sıcaklıkları

Şekil 3.4'te görülen grafiğe göre 19 °C olan oda sıcaklığı ısı transferi yönü dış hava ortamına doğru ilerlerken iç sıva yüzeyinde 17,3 °C, referans beton yüzeyinde 16,98 °C, yalıtım malzemesi yüzeyinde ise 15,53 °C sıcaklığa düşmektedir. Yalıtım malzemesini geçtikten sonra ısı direnç azaldığı için sıcaklık hızlı bir şekilde düşerek dış sıva yüzeyinde 0,36 °C olmuştur. Referans betona kulak tıkacı eklendikçe ısı iletim katsayısı düşmekte ve ısı direnç artmaktadır. Bu durumda yapı bileşeni yüzeylerinde sıcaklık düşme oranı azalacak ve bina kabuğu daha yüksek sıcaklıkta kalarak ısı enerjisi daha iyi muhafaza edecektir.

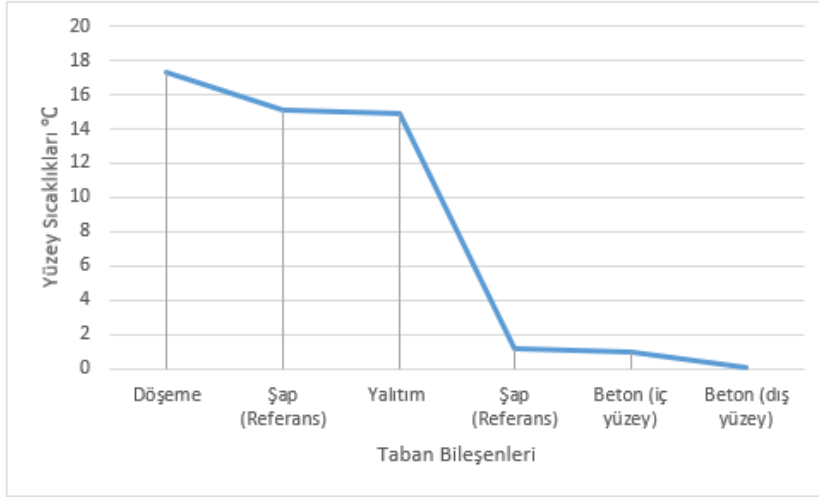
Şekil 3.5'te görülen grafikte Şekil 3.4'te belirtilen referans beton yerine %5, %10, %15 ve %20 oranlarında agrega yerine kulak tıkacı malzemesi eklenmiş betonların yüzeyinde oluşan sıcaklıklar görülmektedir.



Şekil 3.5. Kulak tıkacı kullanılan beton numunelerin yüzey sıcaklığı değerleri

Şekil 3.5'te verilen senaryo başlangıcında beton kontrol numunesinin yüzey sıcaklığı yaklaşık olarak 16,98 °C iken, beton malzemeye agrega olarak kulak tıkacı eklendikçe sıcaklık değerlerinin yükseldiği Şekil 3.5'te görülmektedir. Beton kontrol numunesinde ölçülen sıcaklık değerinin, numunenin agregası %20 oranında kulak tıkacı değiştirildiğinde yaklaşık 0,021 °C arttığı gözlemlenmiş ve bu durum kulak tıkacı malzemesinin beton içerisine eklenmesinin, betonda direnci arttırdığını ve malzemenin daha sıcak tutulabileceğini göstermiştir.

Şekil 3.6'daki grafikte Şekil 2.3'te verilen taban modeli kullanılarak yapılan taban bileşenlerinde meydana gelen sıcaklık düşüş miktarları görülmektedir. Yapılan hesaplamalarda, dış hava sıcaklığı 3. derece gün bölgesi ortalamasına göre -0,3 °C, iç hava sıcaklığı da TS 825 Standardı'na göre 19 °C alınmıştır. Ayrıca taban dış havaya temaslı bir ortam olarak düşünülmüştür.



Şekil 3.6. Taban bileşenlerinin yüzey sıcaklıkları

Şekil 3.7’de ise, çalışmada üretilen farklı oranlardaki şap numunelerinin Şekil 3.6.’da belirtilen senaryo yerine konulması sonucunda hesaplanan yüzey sıcaklıkları verilmiştir. (Duvar modeli ile kıyaslama yapılabilmesi için, dış hava ile temaslı olarak, 3. derece gün bölgesindeki en düşük dış hava sıcaklığı değeri olan -0.3 °C ve iç hava sıcaklığı 19 °C olarak alınmıştır.)



Şekil 3.7. Kulak tıkacı kullanılan şap numunelerinin yüzey sıcaklığı değerleri

Şekil 3.7’de verilen senaryo başlangıcında şap kontrol numunesinin yüzey sıcaklığı yaklaşık olarak 15,15 °C iken, şapa agrega olarak kulak tıkacı eklendikçe sıcaklık değerlerinin yükseldiği Şekil 3.7’de görülmektedir. Şap kontrol numunesinde ölçülen

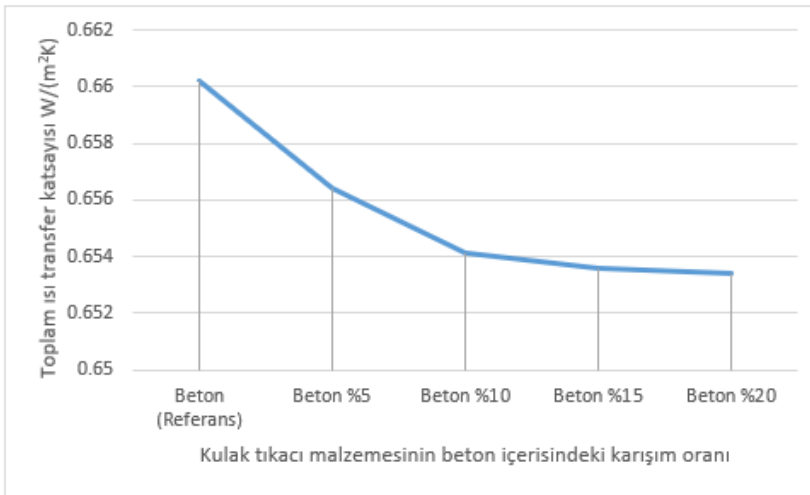
sıcaklık değerinin, numunenin agregası %75 oranında kulak tıkaçı ile değiştirildiğinde yaklaşık 0,14 °C arttığı gözlemlenmiş ve bu durum kulak tıkaçı malzemesinin şap içerisine eklenmesinin de şapta direnci arttırdığını ve malzemenin daha sıcak tutulabileceğini göstermiştir.

Kulak tıkaçı malzemesi eklenen betonlarda maksimum sıcaklık değişimi yaklaşık 0,021 °C olurken, şap numunelerinde sıcaklığın yaklaşık 0,14 °C arttığı gözlemlenmiştir. Bu durumun nedeni şap numunelerinde basınç düşüşü endişesi olmadığından beton numunesine göre daha fazla oranlarda kulak tıkaçı malzemesi eklenebilmesidir.

2.1. Hesap Yöntemi başlığında belirttiği şekilde duvar modeli için toplam ısı transfer katsayıları hesaplanarak Tablo 3.2’de verilmiştir. Ayrıca Şekil 3.8’de de değişimler gösterilmiştir.

Tablo 3.2. Beton numunelerin U değerleri

Numune Adı	U (W/m ² K)
Beton Kontrol Numunesi	0.6602
%5 Kulak Tıkaçı Agregası Katkılı	0.6564
%10 Kulak Tıkaçı Agregası Katkılı	0.6541
%15 Kulak Tıkaçı Agregası Katkılı	0.6536
%20 Kulak Tıkaçı Agregası Katkılı	0.6534



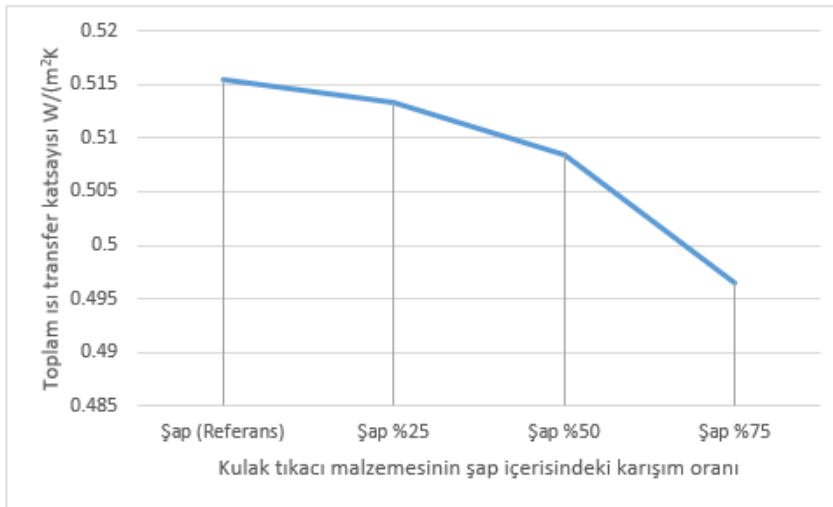
Şekil 3.8. Beton numunelerin toplam ısı transfer katsayısı değerleri

Tablo 3.2’de verilen değerler ve Şekil 3.8’de verilen grafik incelendiğinde, beton kontrol numunesinin toplam ısı transfer katsayısı değerinin (U) kulak tıkacı oranı arttıkça azaldığı görülmektedir.

2.1. Hesap Yöntemi başlığında belirttiğı şekilde taban modeli için toplam ısı transfer katsayıları hesaplanarak Tablo 3.3’te verilmiştir. Ayrıca Şekil 3.9’da da değişimler gösterilmiştir.

Tablo 3.3. Şap numunelerinin U değerleri

Numune Adı	U (W/m ² K)
Şap Kontrol Numunesi	0,5155
%25 Kulak Tıkacı Agregası Katkılı	0,5133
%50 Kulak Tıkacı Agregası Katkılı	0,5085
%75 Kulak Tıkacı Agregası Katkılı	0,4965



Şekil 3.9. Şap numunelerinin toplam ısı transfer katsayısı değerleri

Tablo 3.3’te verilen değerler ve Şekil 3.9’da verilen grafik incelendiğinde, şap kontrol numunesinin toplam ısı transfer katsayısı değerinin (U) kulak tıkacı oranı arttıkça azaldığı görülmektedir.

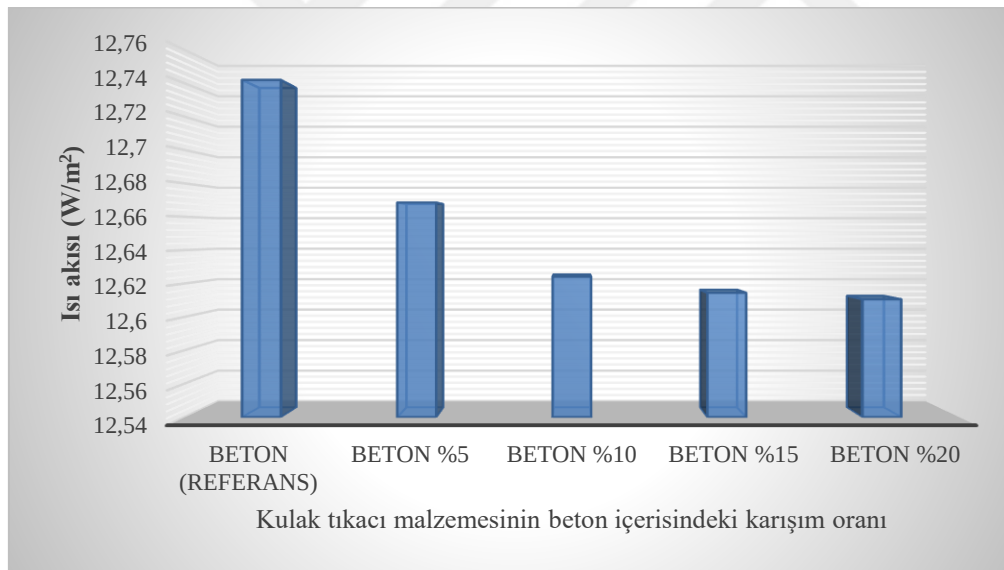
Beton ve şap numunelerinde kulak tıkacı oranı arttıkça, toplam ısı transfer katsayısı (U) değerinin azalması, ısı transfer hızını azaltacağı açıktır. Bu durum ısıtma ve soğutma

sezonlarında gereksinim duyulan enerji miktarının azalmasına ve doğrudan CO₂ emisyonlarının düşmesine katkı sağlayacaktır.

3. Derece Gün Bölgesi'nde bulunan beton numuneler için hesaplanan ısı akıları Tablo 3.4'te verilmiştir. Ayrıca hesaplanan ısı akılarının grafiksel ifadeleri Şekil 3.10'da gösterilmektedir.

Tablo 3.4. Beton numunelerin ısı akısı (q) değerleri

Numune Adı	U (W/m ² K)	ΔT °C	q (W/m ²)
Beton Kontrol Numunesi	0,6602	19,3	12,74186
%5 Kulak Tıkacı Agregası Katkılı	0,6564	19,3	12,66852
%10 Kulak Tıkacı Agregası Katkılı	0,6541	19,3	12,62413
%15 Kulak Tıkacı Agregası Katkılı	0,6536	19,3	12,61448
%20 Kulak Tıkacı Agregası Katkılı	0,6534	19,3	12,61062



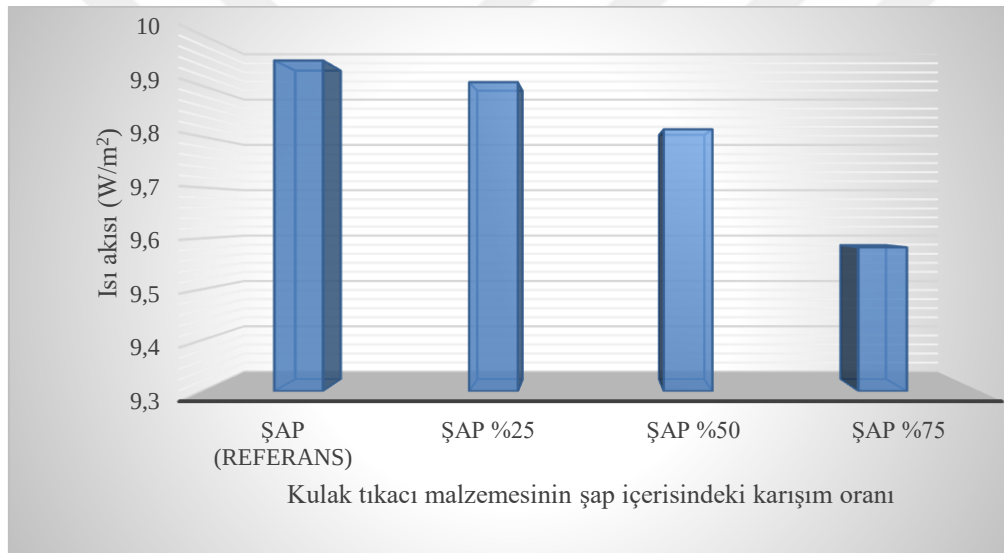
Şekil 3.10. Beton numunelerinde kulak tıkacı oranına göre ısı akısı

Şekil 3.10 incelendiğinde, beton numuneye kulak tıkacı eklendikçe ısı akısının azaldığı görülmektedir. Isı akısının azalması, birim alandan geçen ısı miktarının azalması anlamı taşıdığı için ısı transferi problemlerinde önemli bir göstergedir.

3. Derece Gün Bölgesi'nde bulunan şap numuneleri için hesaplanan ısı akıları Tablo 3.5'te verilmiştir. Ayrıca hesaplanan ısı akılarının grafiksel ifadeleri Şekil 3.11'de gösterilmektedir.

Tablo 3.5. Şap numunelerin ısı akısı (q) değerleri

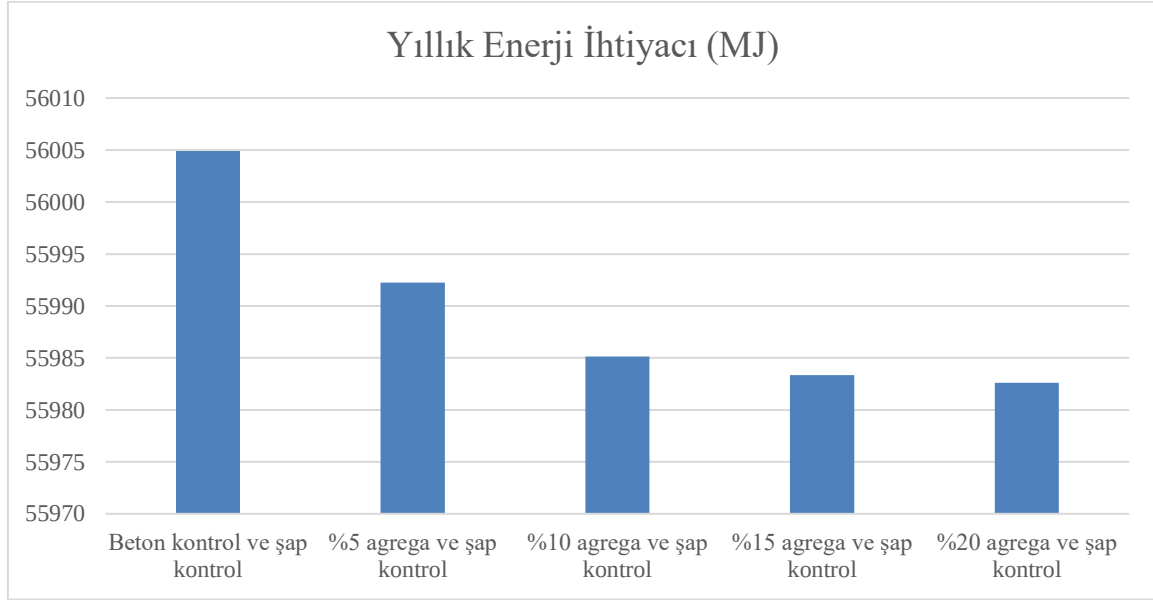
Numune Adı	U (W/m ² K)	ΔT °C	q (W/m ²)
Şap Kontrol Numunesi	0,5155	19,3	9,94915
%25 Kulak Tıkacı Agregası Katkılı	0,5133	19,3	9,90669
%50 Kulak Tıkacı Agregası Katkılı	0,5085	19,3	9,81405
%75 Kulak Tıkacı Agregası Katkılı	0,4965	19,3	9,58245



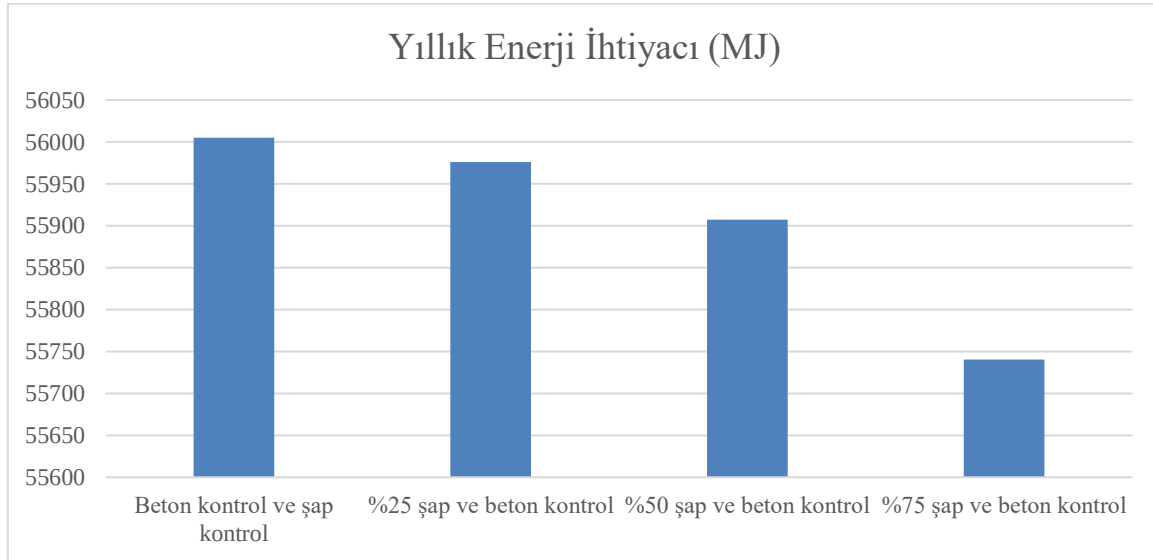
Şekil 3.11. Şap numunelerindeki kulak tıkacı oranına göre ısı akısı

Şekil 3.11 incelendiğinde, şap numunesine kulak tıkacı eklendikçe ısı akısının azaldığı görülmektedir. Isı akısı referans şap numunesinde 9,94 W/m² değerinden %75 oranında kulak tıkacı kullanılan şap numunesinde 9,58 W/m² değerine düşmüştür. Bu değerlerin birim alan başına geçen ısı transfer hızı olduğu düşünüldüğünde bir binada kayda değer bir enerji tasarrufu sağlanabilecektir.

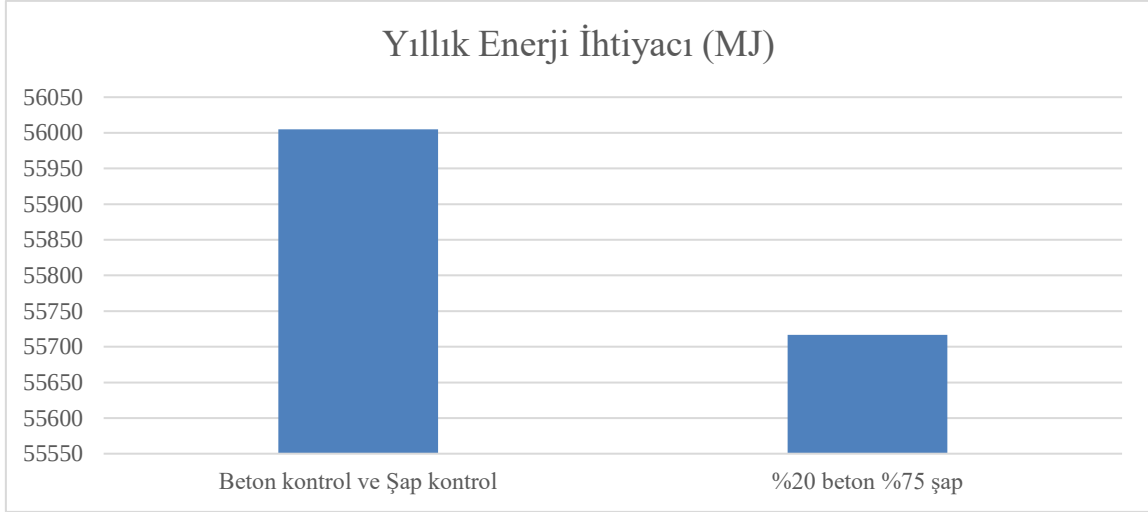
2.1. Hesap Yöntemi başlığında hesaplanan bir bina içerisindeki duvar ve taban bileşenlerinde kullanılan beton ve şap numunelerinin yıllık ısıtma enerjisi ihtiyaçları karşılaştırması Şekil 3.12, Şekil 3.13 ve Şekil 3.14’te verilmiştir.



Şekil 3.12. Şap kontrol numunesi sabit tutularak beton numunelerin hesap yöntemine dahil edilmesiyle elde edilen Yıllık Enerji İhtiyacı (MJ)



Şekil 3.13. Beton kontrol numunesi sabit tutularak şap numunelerinin hesap yöntemine dahil edilmesiyle elde edilen Yıllık Enerji İhtiyacı (MJ)



Şekil 3.14. %20 kulak tıkacı katkılı beton ve %75 kulak tıkacı katkılı şap numunesinin hesap yöntemine dahil edilmesiyle elde edilen Yıllık Enerji İhtiyacı (MJ)

Şekil 3.12’deki değerlere bakıldığında, beton ve şap kontrol numunelerinin ölçülen ısı iletim katsayısı değerlerine göre yapılan Yıllık Enerji İhtiyacı hesap değerinin, şap kontrol numunesinin ısı iletim katsayısı değeri sabit tutulduğunda ve beton numunelerin içerisindeki kulak tıkacı katkısı oranı arttığında azaldığı görülmüştür.

Şekil 3.13’teki değerlere bakıldığında, beton ve şap kontrol numunelerinin ölçülen ısı iletim katsayısı değerlerine göre yapılan Yıllık Enerji İhtiyacı hesap değerinin, beton kontrol numunesinin ısı iletim katsayısı değeri sabit tutulduğunda ve şap numunelerinin içerisindeki kulak tıkacı katkısı oranı arttığında azaldığı görülmüştür.

Ayrıca, Şekil 3.14’e bakıldığında, %20 oranında kulak tıkacı katkılı beton numunesi ve %75 oranında kulak tıkacı katkılı şap numunesinin ısı iletim katsayıları kullanılarak yapılan hesaplamada, beton ve şap kontrol numunelerinin ölçülen ısı iletim katsayısı değerlerine göre Yıllık Enerji İhtiyacı hesap değerinin 495 m³ brüt hacme karşılık olarak 288,03 MJ azaldığı görülmüştür.

Hesaplamalar sonucunda, 1 m³ hacim başına yaklaşık 1,72 MJ’lük ısı tasarrufunun sağlandığı görülmüştür. Aynı yöntemler ile bir katı 600 m³ brüt hacme sahip 10 katlı bir binanın toplam brüt hacmine karşılık (6000 m³) yaklaşık olarak 10320 MJ’lük ısı tasarrufu sağlanacaktır.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Katı atıkların geri dönüşümü günümüzün en büyük sorunudur. Hammadde kaynaklarında sürdürülebilirliğe ulaşmak sanayinin, inovasyonun ve altyapının sürdürülebilir kalkınma hedefleridir. Beton üretiminde hammadde tüketimini ve karbondioksit emisyonlarını azaltmaya yönelik uygulamalar hızla artmaktadır. Ülkemiz ve Dünya kaynaklarının hızla tükenmekte olduğu bu dönemde, enerji tasarrufunun ve verimliliğinin artırılması gerekmektedir. Enerji verimliliğini arttıran çalışmalar yapılırken kaynaklarımızın tükenmekte olduğu ve geri dönüştürülebilen materyallerin bu konuda kullanılabileceği de göz önüne alınarak çalışmaların yapılması, daha yaşanılabilir bir dünya ve sürdürülebilir çevre için önceliğimiz olmalıdır.

Bu çalışmada, günümüzün en büyük sorunlarından biri olan enerji tasarrufunun sağlanabilmesi amacıyla, referans beton ve referans şap numuneleri ile beton ve şap içerisinde agrega olarak belli oranlarda kullanılan kulak tıkacı hammaddesi ile üretilmiş betonlar karşılaştırılmıştır. Betonda ve şapta eklenen kulak tıkacı hammaddesi oranına bağlı olarak ısı iletkenlik değerleri azalmıştır. Beton kontrol numunesinde ölçülen ısı iletim katsayısı değeri 2,4326 W/mK olurken, diğer numunelerin eklenen oranlara göre ısı iletim katsayıları 2,2348 W/mK ile 2,0986 W/mK arasında, şap kontrol numunesinde ise ölçülen ısı iletim katsayısı değeri 1,5467 W/mK olurken, diğer numunelerin eklenen oranlara göre ısı iletim katsayıları 1,226 W/mK ile 0,4688 W/mK arasında bulunmuştur.

Ayrıca, beton kontrol ve şap kontrol numuneleri ile oluşturulan bir senaryo ve agregası belli oranlarda değiştirilmiş beton ve şap numuneleri ile oluşturulan senaryolar karşılaştırılmıştır. Beton kontrol ve şap kontrol numunesi ile oluşturulan senaryoya göre, %20 agregası kulak tıkacı hammaddesi ile değiştirilmiş beton ve %75 agregası kulak tıkacı ile değiştirilmiş şapın kullanıldığı binanın senaryosu üzerinde yapılan hesaplamalar sonucunda, söz konusu binanın 495 m³ brüt hacmine karşılık 288,03 MJ'lük ısı tasarrufu miktarı sağladığı görülmüştür. Söz konusu hesap yönteminde iki katlı bir bina kullanılmış olup, kulak tıkacı malzemesinin daha yüksek katlı ve yüksek hacimli binalarda beton ve şap içerisinde kullanımı elde edilen ısı tasarrufu miktarını artacaktır.

Bu çalışma sonucunda, kulak tıkacı malzemesinin beton ve şap içerisinde kullanımının ısı iletkenlik özellikleri açısından binalarda ısı direnci artırdığı tespit edilmiştir. Bu durum kayda değer bir enerji tasarrufu sağlayarak hem ülkemizin enerjide dışa bağımlılığını azaltacak hem de karbon salınımı miktarlarını düşürecektir.

Ayrıca, %20 oranında agregası kulak tıkacı ile değiştirilmiş beton numunesinin ölçülen dayanım değerinin TS 500 Standardı'nda belirtilen değerlere göre C30 beton sınıfına denk geldiği görülmüştür. Bu dayanım sınıfı, günümüzde yapılan binaların dayanım sınıfına eşdeğerdir.

Kulak tıkacı malzemesinin kullanım amacı, gürültülü çalışma ortamlarında insanların işitme duyusu organlarına zarar verilmemesini amaçlamaktadır. Bu amaçla da ses absorbe özelliği bulunmaktadır. Bu çalışmada incelenen ısıtma değerlerinin yanı sıra, kulak tıkacının kullanım amacını da birlikte değerlendirirsek, şap içerisinde kulak tıkacı katkısının kullanımı, katlar arasında oluşabilecek gürültüye karşı izolasyonu sağlayacak ve daha konforlu bir yaşam alanı sunmaya yardımcı olacaktır. Ayrıca bu çalışma, tek kullanımlık iş güvenliği malzemelerinin beton ve şap içerisinde değerlendirilmesi sebebiyle de sürdürülebilir bir çevreye katkıda bulunmaktadır.

5. KAYNAKLAR

- Abhimanyu, C.**, 2021. Fighting from the bottom, India's sanitation workers are also frontline workers battling covid, *The Indian Express*.
- Adalberth, K.**, 1999. Energy Use in Four Multi-Family Houses During their Life Cycle.
- Aggarwal, M.**, 2020. Pollution watchdog releases guidelines to handle covid19 biomedical waste, *MONGABAY*, vol. 30, p.
- Alfahdawi, I.H., Hamid, R., Osman, A.S., Al-Hadithi, A.I.**, 2016. Utilizing waste plastic polypropylene and polyethylene terephthalate as alternative aggregates to produce lightweight concrete: A review.
- Allafi, F., Hossain, M.S., Lalung, J., Shaah, M., Salehabadi, A., Ahmad, M.I., Shadi, A.**, 2020. Advancements in applications of natural wool fiber, *J. Nat. Fibers*:1–16.
- Al-Awabdeh, F.W., Al-Kheetan, M.J., Jweihan, Y.S., Al-Hamaiedeh, H., Ghaffar, S.H.**, 2022. Comprehensive investigation of recycled waste glass in concrete using silane treatment for performance improvement, *Results in Engineering*, 16, 100790.
- Altınışık, K.**, 2006. Isı yalıtımı, Nobel Yayın Dağıtımı, Yayın No:954, 1. Basım, Ağustos, Ankara.
- Arena, A.P., De Rosa, C.**, 2003. Life cycle assessment of energy and environmental implications of the implementation of conservation technologies in school buildings in Mendoza—Argentina. *Building and Environment*, 38 (2), 359-368.
- Asdrubali, F., D'Alessandro, F., Schiavoni, S.**, 2015. A review of unconventional sustainable building, insulation materials. *Sustainable Materials and Technologies*, 4:1-17.
- Aşkadar, M.A.**, 2005. Isı yalıtımı ve konutlarda enerji verimliliği izolasyon dünyası, Sayı.55, Eylül-Ekim, s.54-58.
- Benjeddou, O., Ravindran, G., Abdelzaher, M.A.**, 2023. Thermal and acoustic features of lightweight concrete based on marble wastes and expanded perlite aggregate. *Building Materials, and Repair & Renovation*, 13, 992.
- Cabeza, L.F., Castell, A., Medrano, M., Martorell, I., Perez, G., Fernandez, I.**, 2010. Experimental study on the performance of insulation materials in Mediterranean construction. *Energy and Buildings*, 42(5), 630-636.
- Chwieduk, D.**, 2003. Towards sustainable-energy buildings. *Appl Energy*, 76:211-7.
- Cunha, S., Tavares, A., Aguiar, J.L.B., Castro, F.**, 2022. Cement mortars with ceramic molds shells and paraffin waxes wastes: Physical and mechanical behavior. *Construction and Building Materials*, 342(10):127949

- de Alegría Mancisidor, I. M., de Basurto Uraga, P.D.,** 2009. European Union's renewable energy sources and energy efficiency policy review: The Spanish perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(1):100-114.
- Demirdağ S., Gündüz, L.,** 2008. Strength properties of volcanic slag aggregate lightweight concrete for high performance masonry units. *Construction and Building Materials*, 22(3):135–142.
- Dimoudi, A., Tompa, C.,** 2008. Energy and environmental indicators related to construction of Office buildings. *Resources, Conservation and Recycling*, 53(1-2), 86-95.
- Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Seyboth, K., Matschoss, P., Kadner, S., Zwickel, T., Eickemeier, P., Hansen, G., Schlomer, S.,** 2011. IPCC special report on renewable energy sources and climate change mitigation. Prepared By Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Ekinci, C.E.,** 2003. Yalıtım teknikleri. Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul, 89s.
- Erkmen, J., Yavuz, H.I., Kavci, E., Sari, M.,** 2020. A new environmentally friendly insulating material designed from natural materials, *Constr. Build. Mater.* 255:119357.
- Erkmen, J., Sari, M.,** 2023. Hydrophobic thermal insulation material designed from hazelnut shells, pinecone, paper and sheep wool. *Construction and Building Materials*, 365:130131.
- Gawande, A., Zamare, G., Renge, V., Tayde, S., Bharsakale, G.,** 2012. An overview on waste plastic utilization in asphalting of roads, *J. Eng. Res Studies*, 3 (2):1–5.
- Gharibi, H., Mostofinejad, D., Teymouri, M.,** 2023. Impacts of conifer leaves and pine ashes on concrete thermal properties. *Construction and Building Materials*, 377:131144.
- Gölcü, M., Dombaycı Ö.A., Abalı, S.,** 2006. Denizli için optimum yalıtım kalınlığının enerji tasarrufuna etkisi ve sonuçları. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21(4). 639-644.
- Gürel, A.E., Cingiz, Z.,** 2011. Farklı dış duvar yapıları için optimum ısı yalıtım kalınlığı tespitinin ekonomik analizi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 15(1), 75-81.
- Hanle, L.J., Jayaraman, K.R., Smith, J.S.,** 2004. CO₂ emissions profile of the us cement industry, environmental protection agency, Washington DC.
- Hanson, J.L., Kopp, K.B., Yesiller N., Cooledge, C.M., Klee, E.,** 2016. The use of recycled materials as thermal insulation in underground construction. *American Society of Civil Engineers Geo-Chicago*, 8:94-103.

- Jaivignesh, B., Sofi, A.,** 2017. Study on mechanical properties of concrete using plastic waste as an aggregate, in IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, vol. 80, no. 1. *IOP Publishing*, p. 012016.
- Manju, R., Sathya, S., Sheema, K.,** 2017. Use of plastic waste in bituminous pavement. *International Journal of ChemTech Research*, 10 (08):804–811.
- McNally, J.D., O'Hearn, K., Gertsman, S., Sampson, M., Sikora, L., Agarwal, A., Webster, R.J.,** 2020. Microwave and heat-based decontamination for facemask personal protective equipment (PPE): Protocol for a Systematic Review. *Preprints*.
- Mohan, H.T., Jayanarayanan, K., Mini, K.M.,** 2020. Recent trends in utilization of plastics waste composites as construction materials, *Constr. Build. Mater.*, 121520.
- Mohan, H.T., Jayanarayanan K., Mini, K.M.,** 2022. A sustainable approach for the utilization of PPE biomedical waste in the construction sector. *Engineering Science and Technology, an International Journal* 32.
- Mohit, M., Haftbaradaran H., Riahi T.H.,** 2023. Investigating the ternary cement containing Portland cement, ceramic waste powder, and limestone.
- Najaf, E., Abbasi, H.,** 2022. Using recycled concrete powder, waste glass powder, and plastic powder to improve the mechanical properties of compacted concrete: Cement elimination approach.
- Nouali, M., Derriche, Z., Ghorbel, E., Chuanqiang, L.,** 2020. Plastic bag waste modified bitumen a possible solution to the algerian road pavements. *Road Mater Pave. Des.*, 21 (6):1713–1725.
- Oss, H.G., Padovani, A.C.,** 2003. Cement manufacture and the environment part II: Environmental challenges and opportunities. *J. Ind. Ecol.* 7 (1):93–126.
- Park, C.-Y., Kim, K., Roth, S.,** 2020. Global shortage of personal protective equipment amid COVID-19: supply chains, bottlenecks, and policy implications. *Asian Develop. Bank* 130.
- Rajendrakumar, A.L., Nair, A.T.N., Nangia, C., Chourasia, P.K., Chourasia, M.K., Syed, M.G., Nair, A.S., Nair, A.B., Koya, M.S.F.,** 2021. Epidemic landscape and forecasting of sars-cov-2 in India. *J. Epidemiol. Global Health* 11 (1):55.
- Ricciardi, P., Belloni, E., Cotana, F.,** 2014. Innovative panels with recycled materials: Thermal and acoustic performance and Life Cycle Assessment. *Science Direct*, 12:150-162.
- Rodríguez-Soria, B., Domínguez-Hernandez, J., Perez-Bella, J.M., del Coz-Díaz, J.J.,** 2015. Quantitative analysis of the divergence in energy losses allowed through building envelopes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 1000-1008.

- Sartor, K., Barros, J.S.G., Sarubbi, J., Alonso, J.B., Rossi, L.A., 2018.** Thermal insulation with recycled material in creeps for piglets. *Engenharia Agrícola*, 38(6):824–828.
- Scheuer, C., Gregory, A., Reppe, P., 2003.** Life cycle energy and environmental performance of a new university building: Modeling challenges and design implications. *Energy and Building*, 35:44–45.
- Sharma, R., Bansal, P.P., 2016.** Use of different forms of waste plastic in concrete—a review. *J. Cleaner Prod.*, 112:473–482.
- Suganya, M., Sathyan, D., Mini, K.M., 2018.** Performance of concrete using waste fiber reinforced polymer powder as a partial replacement for fine aggregate. *Materials Today Proceedings*, 5 (11), 24 114–24 123.
- Thorneycroft, J., Orr, J., Savoikar, P., Ball, R.J., 2018.** Performance of structural concrete with recycled plastic waste as a partial replacement for sand, *Constr. Build. Mater.*, 161:63–69.
- Uçar, A., Balo, F., 2009.** Effect of fuel type on the optimum thickness of selected insulation materials for the four different climatic regions of Turkey. *Appl Energy*, 86:730–6.
- UNEP, 2009.** United Nations Environment Programme, Report: Buildings And Climate Change: A Summary for Decision-makers, 2009. ISBN: 987-92-807-3064-7.
- URL-1, 2023.** 2022 UNEP, Bina ve İnşaat Küresel Durum Raporu, 03 Nisan 2023.
- URL-2, 2023.** <https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/teg%202022.pdf>. TMMOB MMO, Türkiye'nin Enerji Görünümü. 03 Nisan 2023.
- URL-3, 2023.** www.izoder.org.tr. Binalarda Isı Yalıtım Kuralları. 03 Nisan 2023.
- URL-4, 2023.** <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32002L09>. Binaların enerji performansı hakkındaki 16 Aralık 2002 tarihli Avrupa Parlamentosu ve Konseyi'nin 2002/91 / EC Direktifi. 03 Nisan 2023.
- URL-5, 2023.** https://www.bosettiegatti.eu/info/norme/statali/2006_0311.htm. Direttiva 2002/91/CE. 3 Mayıs 2023.
- URL-6, 2023.** <https://leg16.camera.it/561?appro=52&Certificazione+energetica+degli+edifici>. Disposizioni correttive ed integrative al D. Lgs. 192/2005, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia. 03 Mayıs 2023.
- URL-7, 2023.** <https://www.iso.org/standard/37456.html>. ISO 14040, Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework. International Organization for Standardisation. 05 Haziran 2023.

- URL-8,** 2023. <https://www.iso.org/standard/38498.html>. ISO 14044, Environmental Management – Life Cycle Assessment – Requirements and Guidelines. 05 Haziran 2023.
- URL-9,** 2023. <https://www.iso.org/standard/38131.html>. Environmental Labels and Declarations – Type III Environmental Declarations – Principles and Procedures. 05 Haziran 2023.
- URL-10,** 2023. <https://www.ravagopetrokimya.com/products/tpe/>. Ravago Thermoplastic Elastomers. 20 Eylül 2023.
- URL-11,** 2023. <https://www.cimentas.com.tr/urunler/1002/cem-i/1001/425-r.aspx>. Çimentaş Cementır Holding. CEM I, 42,5 R Özellikleri. 22 Eylül 2023.
- URL- 12,** 2023. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2000/07/20000712M1-23.pdf>. Türk Standartları Enstitüsü, TS-500, 2000, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları. 22 Eylül 2023.
- Weihui, Z., Leyi, C.,** 2008. Progress of CO2 Emission Reduction Technologies & Measures Abroad, Sino-Global Energy 3.