

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**AKDENİZ İKLİM KOŞULLARINDA PASİF EV STANDARTLARININ
UYGULANABİLİRLİĞİNİN SİNİRSEL BULANIK MANTIK İLE TAHMİNİ
VE TASARIM SÜRECİNE DAHİL EDİLMESİ: YARI OLİMPİK KAPALI
HAVUZ ÖRNEĞİ**

Setenay UÇAR

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİMARLIK

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

OCAK 2023

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**AKDENİZ İKLİM KOŞULLARINDA PASİF EV STANDARTLARININ
UYGULANABİLİRLİĞİNİN SİNİRSEL BULANIK MANTIK İLE TAHMİNİ
VE TASARIM SÜRECİNE DAHİL EDİLMESİ: YARI OLİMPİK KAPALI
HAVUZ ÖRNEĞİ**

Setenay UÇAR

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİMARLIK

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

OCAK 2023

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AKDENİZ İKLİM KOŞULLARINDA PASİF EV STANDARTLARININ
UYGULANABİLİRLİĞİNİN SİNİRSEL BULANIK MANTIK İLE TAHMİNİ
VE TASARIM SÜRECİNE DAHİL EDİLMESİ: YARI OLİMPİK KAPALI
HAVUZ ÖRNEĞİ

Setenay UÇAR
MİMARLIK
ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ

Bu tez 26/01/2023 tarihinde jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. İlknur AKINER (Danışman)
Prof. Dr. Hacer MUTLU DANACI
Dr. Öğr. Üyesi Muhammet Fatih AK
Doç. Dr. İkbâl ERBAŞ
Doç. Dr. Ülger BULUT KARACA

ÖZET

AKDENİZ İKLİM KOŞULLARINDA PASİF EV STANDARTLARININ UYGULANABİLİRLİĞİNİN SİNİRSEL BULANIK MANTIK İLE TAHMİNİ VE TASARIM SÜRECİNE DAHİL EDİLMESİ: YARI OLİMPİK KAPALI HAVUZ ÖRNEĞİ

Setenay UÇAR

Doktora Tezi, Mimarlık Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. İlknur AKINER

Ocak 2023; 188 sayfa

Pasif Ev enerji tasarrufu sağlayan, binanın tasarım aşamasında karar verilen veya mevcut binalara uygulanabilen bir inşaat konseptidir. Soğuk iklimlere sahip ülkelerde kullanımı yaygın olan Pasif Ev, sıcak iklimlerde de uygulanması son yıllarda sadece küçük ölçekli yapılar için başlamıştır. Daha önce sıcak iklimlerde büyük ölçekli geniş mekanlarda uygulanmayan bu konseptin ısıtma ve soğutma yükünü hafifletebilmesi ve uygulanabilirliği araştırılmaktadır. Çalışma kapsamında Pasif Ev modeline sahip kapalı havuz yapısının sıcak iklimde uygulanabilirliği için Akdeniz iklim koşullarına sahip Antalya ili için örnek çalışma yapılacaktır. Bu çalışma ile Türkiye'nin Akdeniz iklimine sahip bölgeleri için sonuç oluştursa da hem Türkiye'nin diğer iklimleri hem de diğer ülkelerdeki kapalı havuz yapılarına örnek rehber oluşturulmaktadır. Bu bağlamda yapay zeka yöntemi ve sinirsel bulanık mantık tekniği ile elde edilen verilerin mimari tasarıma yön vermesi, pencere duvar oranını, cephede gölgelendirme elemanlarının varlığını, yapı elemanlarının ısıl geçirgenlik değerleri ve binanın yönlenmesi gibi parametrelere bağlı olarak değişkenlerin enerji ihtiyacını en az düzeyde sağlayabilecek şekilde sonuçlar ortaya koymaktadır. Elde edilen verilerle büyük ölçekli bir binada en uygun model için birçok sonuç ortaya çıkmıştır. Binanın yönüne karar verilmesi, havalandırma veya gölgelendirme ihtiyacının olup olmamasına göre, pencere duvar oranını bulabilmeleri ve bina yapı malzemeleri seçilmesi gibi yapım için mimari tasarıma yön verici parametrelerin oluşturulması sağlanmıştır. Çok kriterli seçim yapmanın zor olması nedeniyle sinirsel bulanık mantık yöntemi uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) ile bu karar verme aşamasını kolaylaştırarak literatürde mimari tasarımın sinirsel bulanık mantık yöntemi ile kullanılması yönünde de bir yenilik olmaktadır.

Çalışmada ortaya çıkan modelin doğruluk oranı gerçek veriler ile ANFIS arasındaki regresyon analizine göre R^2 değerinin 0,9997 olduğu belirlenmiştir. Bu durumda doğruluk payının %99 olduğunu göstermektedir. Büyük ölçekli yapıda binanın kuzey, güney, doğu veya batı olarak yönlendirilmesi ile pencere ve duvar oranlarının %10 ve %90 olduğu durumlarda yüksek oranda enerji verimliliği sağladığı saptanmıştır. Bina yapımında seçilecek malzemelerde yalıtımın kullanılmasının enerji verimliliğine önemli katkısı olduğu da elde edilen verilerle belirlenmiştir. Yapı elemanlarının ısıl geçirgenlik değeri ve pencere camı özelliklerinin de mimari tasarımda Pasif Ev konseptine uyması yönünden araştırılması ve TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları standartına göre hesaplamalar yapılarak yapıda kat yüksekliği, mekan büyüklüğü, pencere duvar oranlarına göre kıyaslamalar yapılarak ısı kayıp oranlarının etkisi araştırılmıştır. Elde

edilen sonuçların Antalya’da işleme devam eden kapalı havuz yapısına uygulanması ile elektrik ve doğal gaz giderlerinin maliyet hesabı yapılarak kış dönemi yaklaşık %60 ve yaz dönemi yaklaşık %15 kar edilebileceğini göstermektedir. Bu çalışma ile inşaatta özellikle Türkiye Akdeniz ikliminde var olan eksikliklerin tamamlanması yönünde bilgi sağlanmaktadır.

ANAHTAR KELİMELEER: Bina enerji performansı, Enerji etkin bina, Mimarlık, Pasif Ev, Sinirsel bulanık mantık, Yapay zeka.

JÜRİ: Prof. Dr. İlknur AKINER (Danışman)

Prof. Dr. Hacer MUTLU DANACI

Dr. Öğr. Üyesi Muhammet Fatih AK

Doç. Dr. İkbal ERBAŞ

Doç. Dr. Ülger BULUT KARACA

ABSTRACT

ESTIMATING THE APPLICABILITY OF PASSIVE HOUSE STANDARDS IN MEDITERRANEAN CLIMATE CONDITIONS WITH NEURO FUZZY LOGIC AND ITS INCLUDING INTO THE DESIGN PROCESS: A CASE OF A SEMI-OLYMPIC INDOOR POOL

Setenay UÇAR

PhD Thesis in Department of Architecture

Supervisor: Prof. Dr. İlknur AKINER

January 2023; 188 pages

Passive House is an energy-saving construction concept that is decided during the design phase of the building or can be applied to existing buildings. Passive House, which is widely used in countries with cold climates, has started to be applied in hot climates only for small-scale buildings in recent years. This concept, which has not been applied in large-scale spaces in hot climates before, is being investigated to alleviate the heating and cooling load and its applicability. Within the scope of the study, a case study will be made for the province of Antalya, which has Mediterranean climate conditions, for the applicability of the indoor pool structure with the Passive House model in hot climates. Although this study produces results for the Mediterranean climate regions of Turkey, an exemplary guide is created for both Turkey's other climates and indoor pool structures in other countries. In this context, the data obtained by the artificial intelligence method and neural fuzzy logic technique give direction to the architectural design, the window-to-wall ratio, the presence of shading elements on the façade, the thermal transmittance values of the building elements, and the orientation of the building, depending on parameters such as the energy need of the variables to be provided at the lowest level. puts it. With the data obtained, many results have emerged for the most appropriate model for a large-scale building. By determining the direction of the building, finding the window-to-wall ratio according to whether there is a need for ventilation or shading, and choosing the building materials for the construction, it is ensured that the guiding parameters for the architectural design are created. Since it is difficult to make multi-criteria selections, the neural fuzzy logic method facilitates this decision-making process with the adaptive network-based fuzzy inference system (ANFIS), and it is an innovation in the literature to use the neural fuzzy logic method in architectural design.

The accuracy rate of the model that emerged in the study was determined to be 0.9997 according to the regression analysis between the real data and ANFIS. In this case, it shows that the accuracy rate is 99%. It has been determined that a large-scale structure provides high energy efficiency in cases where the building is oriented north, south, east or west and the window and wall ratios are 10% and 90%. It has also been determined with the obtained data that the use of insulation in the materials to be selected in the construction of the building has a significant contribution to energy efficiency. The thermal transmittance value of the building elements and the window glass properties were also investigated in terms of compliance with the Passive House concept in architectural design and the effect of heat loss rates was investigated by making

calculations according to the TS 825 Thermal Insulation Rules in Buildings standard and making comparisons according to the floor height, space size, and window wall ratios in the building. With the application of the obtained results to the indoor pool structure that continues to operate in Antalya, the cost calculation of electricity and natural gas expenses shows that approximately 60% profit can be made in the winter period and approximately 15% in the summer period. With this study, information is provided to correct the deficiencies in construction, especially in the Mediterranean climate of Turkey.

KEYWORDS: Architecture, Artificial Intelligence, Building Energy Performance, Energy efficiency building, Neuro fuzzy logic, Passive House.

COMMITTEE: Prof. Dr. İlknur AKINER (Supervisor)

Prof. Dr. Hacer MUTLU DANACI

Asst. Prof. Dr. Muhammet Fatih AK

Assoc. Prof. Dr. İkbâl ERBAŞ

Assoc. Prof. Dr. Ülger BULUT KARACA

ÖNSÖZ

Bu çalışma ile büyük ölçekli yapı olan yarı olimpik kapalı havuz binalarında enerji tüketiminin fazla olması nedeniyle enerji ihtiyaçlarını azaltacak Pasif Ev konseptinin sıcak iklimlerde uygulanabilirliğine yönelik yapay zeka yöntemi sinirsel bulanık mantık tekniği ile araştırma sonuçları ortaya konulmaya çalışılmıştır. Çalışmam boyunca yardım ve desteklerini esirgemeyip değerli görüş ve önerileri ile çalışmama yön veren değerli tez danışmanım Prof. Dr. İlknur AKINER'e ilgi ve desteğinden ötürü sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Değerli görüşleri ve önerileri ile tez izleme komite hocalarım Prof. Dr. Hacer MUTLU DANACI ve Dr. Öğr. Üyesi Muhammet Fatih AK'a çalışmamın ilerlemesi ve gelişmesini sağladıkları, bana yön verdikleri için teşekkür ederim.

Çalışmalarında teknik bilgileri ile bana yardımcı olan gerekli dökümanları benimle paylaşan Antalya Muratpaşa Belediyesi Süleyman Erol Yüzme Havuzu Müdürü Sayın Yunus KOÇ'a ve ayrıca hayatım boyunca hep yanımda olan en büyük destekçilerim sevgili aileme bana bu süreçteki yardımları için sonsuz teşekkürler.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vi
AKADEMİK BEYAN	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı	3
1.2 Çalışmanın Kapsamı.....	3
1.3 Çalışmanın Yöntemi.....	4
2. KAYNAK TARAMASI	7
2.1 Kapalı Havuz Yapıları için Yapılan Çalışmalar.....	7
2.2 Yapay Zeka Yöntemi ile Yapılan Mimari Tasarım ve Enerji Verimliliği Çalışmaları.....	11
2.3 Dünya’da ve Türkiye’de Ekolojik Bina ve Pasif Ev Kavramı	13
2.3.1 Sürdürülebilir Binaların Gelişimi	14
2.3.2 Sıfır Enerji ve Neredeyse Sıfır Enerji Binalar	16
2.4 Pasif Ev Binalar	18
2.5 Dünya’da ve Türkiye’deki binalarda enerjinin etkin kullanılmasına yönelik mevzuatlar	24
2.5.1 Binalarda ısı yalıtım yönetmeliği	27
2.5.2 Binalarda enerji performansı yönetmeliği	28
2.5.3 Çevresel etki değerlendirmesi (ÇED) yönetmeliği.....	29
2.5.4 Yapı malzemeleri yönetmeliği.....	29
2.6 Kapalı Havuz Yapılarında Tasarım ve Planlama	29
2.6.1 Kapalı havuzların pasif ev modeli ile tasarlanması için parametreler	32
2.6.1.1 Yalıtım ve ısı köprüsü.....	35
2.6.1.2 Hava sızdırmazlığı	39
2.6.1.3 Pencere ve kapılar.....	41

2.6.1.4 Havalandırma.....	42
2.6.1.5 Termal konfor	43
3. MATERYAL VE METOT	45
3.1 Sinirsel Bulanık Mantık Model Kurgusu Mimari Tasarım Sürecinde Yapay Zekanın Kullanımı.....	45
3.2 Sinirsel Bulanık Mantık Parametrelerinin Belirlenmesi	50
3.3 Kuralların Oluşturulması.....	58
4. BULGULAR.....	59
4.1 Verilerin hazırlanması	59
5.2 Modele ait teste başlanması.....	64
5.3 Girdilerin belirlenmesi	67
4.4 Kuralların oluşturulması.....	69
4.5 Modelin Çıktılarının Yorumlanması	72
4.6 Bina yapısında TS 825 Standartlarına göre ısı kayıpları hesabı.....	86
5. TARTIŞMA	91
6. SONUÇLAR	105
7. KAYNAKLAR	109
8. EKLER.....	119
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Doktora Tezi olarak sunduğum “Akdeniz İklim Koşullarında Pasif Ev Standartlarının Uygulanabilirliğinin Sinirsel Bulanık Mantık ile Tahmini ve Tasarım Sürecine Dahil Edilmesi: Yarı Olimpik Kapalı Havuz Örneği” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

26/01/2023

Setenay UÇAR

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

U	: Isıl geçirgenlik katsayısı
K	: Isıl iletkenlik katsayısı
d	: Yapı bileşeninin kalınlığı
d/K	: Isıl geçirgenlik direnci
w_i	: Ateşleme seviyesi
i	: Düğüm
n	: Ateşleme seviyesinde üretilen düğüm sayısını
$f_{\text{çıkış}}$	: Düğüm çıkış fonksiyonu
μ	: Üyelik derecesi
x	: Giriş verisi (1)
y	: Giriş verisi (2)
A_1	: Bulanık küme (1)
B_1	: Bulanık küme (2)
kWh	: Kilovatsaat / Kilowatt hour
,	: Ondalık ayıraç
m^2	: Metrekare
$^{\circ}C$	: derece
Π	: Pi
R^2	: Denklemin belirleme katsayısı
W	: Watt

Kısaltmalar

PDO	: Pencere Duvar Oranı
PPHP	: Passive House Planning Package, Pasif Ev Planlama Paketi
TS	: Türk Standartı
EN	: Avrupa Standartı
ISO	: Uluslararası Standartlar Teşkilatı
ASTM	: Uluslararası Standart Organizasyonu
ATTMA	: Hava Sızdırmazlık Testi ve Ölçümü Derneği
ÇED	: Çevresel etki değerlendirmesi
CO ₂	: Karbondioksit
PMV	: Tahmini Ortalama Oy
RMSE	: Hata Kare Ortalamaları Karekökü
Trimf	: Üçgen şeklinde üyelik fonksiyonu
ANFIS	: Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi
Psigmf	: Sigmodial Üyelik Fonksiyonu
Dsigmf	: Sigmodial Üyelik Fonksiyonu (tam simetrik)
Gauss2mf	: Gauss Üyelik Fonksiyonu
Gbellmf	: Genelleştirilmiş çan şeklindeki üyelik fonksiyonu
Pimf	: Pi (Π) Üyelik Fonksiyonu
HVR	: Isı Geri Kazanımlı Mekanik Havalandırma
EVR	: Enerji Geri Kazanımlı Mekanik Havalandırma
HVAC	: Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme
PHI	: Pasif Ev Enstitüsü

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Yöntem Akış Şeması	5
Şekil 2.1. Muratpaşa Belediyesi Süleyman Erol Kapalı Yüzme Havuzu, Antalya	8
Şekil 2.2. The Aaltoalvari Su Sporları Merkezi Jyväskylä, Finlandiya (Anonymous 9) .	9
Şekil 2.3. Enerji kaynaklarının ürettiği karbondioksit miktarı (Ofazoğlu 2013).....	15
Şekil 2.4. Duvar ve yalıtım malzemesinin ısı geçirgenlik değeri (Kawasaki ve Kawai 2006)	19
Şekil 2.5. Pencere ısı geçirgenlik değeri (Harjunowibowo vd. 2019)	19
Şekil 2.6. Termal köprülerin bulunduğu alanlar (Anonymous 1).....	20
Şekil 2.7. Colgate Hoyt Pool, 1903 (Anonymous 20)	30
Şekil 2.8. Su yüzeyine plastik örtü koyulma örneği (Anonymous 19)	32
Şekil 2.9. Pasif Ev konsepti ile enerji verimliliği ilişki şeması (Anonymous 5)	34
Şekil 2.10. Isı kaçışlarının yaşandığı yapı elemanları (Anonim 1).....	39
Şekil 2.11. Çift cam pencerelerin arasında Argon ve Kripton gazı doldurulması farkı (Anonymous 4)	41
Şekil 2.12. Kapı çerçevesi yalıtım malzemesi ile geçilmesi (Anonymous 2).....	42
Şekil 2.13. Termal konforu oluşturan temel ilkeler görseli (Anonymous 18)	43
Şekil 3.1. ANFIS yapısının modeli (Jang, 1993).....	47
Şekil 3.2. Üçgen üyelik derecesi grafik gösterimi (Trimf)	48
Şekil 3.3. Yamuk üyelik fonksiyonu (Trapmf).....	49
Şekil 4.1. ANFIS eğitim verileri yüklemesi sonrası oluşan grafik	63
Şekil 4.2. ANFIS test verileri yüklemesi sonrası oluşan grafik	64
Şekil 4.3. ANFIS hata grafiği	66
Şekil 4.4. Eğitimde elde edilen çıktı ve tahmini çıktıların karşılaştırılması	67
Şekil 4.5. Test verilerinin grafik gösterimi	68

Şekil 4.6. ANFIS içinde oluşturulan modelin strüktürü	69
Şekil 4.7. ANFIS ile altı girdili bir çıktılı model sonuçları	72
Şekil 4.8. Gerçek değerler ve ANFIS tarafından tahmin edilen değerlerin dağılımı.....	73
Şekil 4.9. İki girdinin çıktı ile olan bağlantılarını gösteren 3 boyutlu grafikler	74
Şekil 4.10. Pencere duvar oranının cam ısı geçirgenliğine göre ısı kayıp tablosu	87
Şekil 4.11. Pencere duvar oranının kat yüksekliğine göre ısı kayıp tablosu.....	88
Şekil 4.12. Yalıtımın mekan büyüklüğüne göre ısı kayıp tablosu	89
Şekil 4.13. Yalıtımın kat yüksekliğine göre ısı kayıp tablosu	90
Şekil 5.1. Binanın %90 ve %10 pencere duvar oranı olduğu durumlardaki görsel	91
Şekil 5.2. Yapı tasarlanma aşamasında enerji verimi en fazla sağlayabilecek PDO oranları özet şeması.....	94

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Son 10 yılda pasif ev bina yapımı yıllara göre dağılımı (Anonymous 21).	21
Çizelge 2.2. Akdeniz iklimine sahip binalarda yapı elemanları özellikleri (Anonymous 21)	22
Çizelge 2.3. Uygulanan tüm pasif ev spor salonları ve kapalı yüzme havuzları binaları (Anonymous 21)	23
Çizelge 2.4. Pasif Ev konseptine sahip iki kapalı havuzun malzeme özellikleri (Anonymous 5)	24
Çizelge 2.5. İnorganik esaslı yalıtım malzemeleri ve ısı iletkenlik katsayısı değerleri.	36
Çizelge 2.6. Sentetik esaslı yalıtım malzemeleri ve ısı iletkenlik katsayısı değerleri ...	37
Çizelge 2.7. Organik esaslı yalıtım malzemeleri ve ısı iletkenlik katsayısı değerleri ...	38
Çizelge 3. 1. Girdi olarak kullanılan duvar yapı malzemeleri	52
Çizelge 3.2. Girdi olarak kullanılan tavan çatı yapı malzemeleri.....	53
Çizelge 3.3. Girdi olarak kullanılan duvar yapı malzemeleri	54
Çizelge 3.4. Girdi olarak kullanılan üçlü cam cam pencere tipleri.....	56
Çizelge 3.5. Girdi olarak kullanılan tek ve çift cam pencere tipleri	57
Çizelge 3.6. Kural örneği	58
Çizelge 4.1. Deneme yapılacak girdilerin test edilmeden önce gruplandırılması	59
Çizelge 4.2. Normalize edilmiş olan verilerin 1. Grup için değerleri.....	60
Çizelge 4.3. Üyelik fonksiyonları hata değerleri	65
Çizelge 4.4. Girdi belirleme tablosu	68
Çizelge 4.5. ANFIS ile oluşturulan kuralların 23 adet örneği	70
Çizelge 4.6. Sıcak hava koşullarında havalandırmanın mevcut olması ve gölgelendirmenin kullanılması ile yıllık enerji ihtiyacına etkisi.....	76
Çizelge 4.7. Sıcak hava koşullarında havalandırmanın olmaması ve gölgelendirmenin kullanılması ile yıllık enerji ihtiyacına etkisi	77

Çizelge 4.8. Sıcak hava koşullarında havalandırmanın mevcut olması ve gölgelendirmenin kullanılmaması ile yıllık enerji ihtiyacına etkisi	78
Çizelge 4.9. Sıcak hava koşullarında havalandırmanın ve gölgelendirmenin kullanılmaması ile yıllık enerji ihtiyacına etkisi	79
Çizelge 4.10. Soğuk hava koşullarında havalandırmanın mevcut olması ve gölgelendirmenin kullanılması ile yıllık enerji ihtiyacına etkisi	80
Çizelge 4.11. Soğuk hava koşullarında havalandırmanın olmaması ve gölgelendirmenin kullanılması ile yıllık enerji ihtiyacına etkisi	81
Çizelge 4.12. Soğuk hava koşullarında havalandırmanın olması ve gölgelendirmenin kullanılmaması ile yıllık enerji ihtiyacına etkisi	82
Çizelge 4.13. Soğuk hava koşullarında havalandırmanın ve gölgelendirmenin kullanılmaması ile yıllık enerji ihtiyacına etkisi	83
Çizelge 4.14. ANFIS ile elden edilen sayısal sonuçların radar grafikleri.....	85
Çizelge 5.1. Yıllık enerji ihtiyacının en az düzeyde olabilmesi için gerekli kriterler	92
Çizelge 5.2. Kullanılacak malzemelerin kategori edilerek ayrıştırılmış tablosu	95
Çizelge 5.3. Duvar Tip 1 iç mekan bitirme malzemesi sıva	96
Çizelge 5.4. Duvar Tip 2 iç mekan bitirme malzemesi mermer	97
Çizelge 5.5. Duvar Tip 3 iç mekan bitirme malzemesi ahşap	97
Çizelge 5.6. Duvar Tip 4 iç mekan bitirme malzemesi boya dış bitirme malzemesi Granit.....	98
Çizelge 5.7. Taban döşemesinde bitirme malzemesi granit malzeme kullanılması	98
Çizelge 5.8. Taban döşemesinde bitirme malzemesi mermer malzeme kullanılması	99
Çizelge 5.9. Taban döşemesinde bitirme malzemesi PVC Yer kaplaması kullanılması	99
Çizelge 5.10. Taban döşemesinde bitirme malzemesi Kireçtaşı Yer kaplaması kullanılması	100
Çizelge 5.11. Çatı döşeme uygulaması bitirme malzemesi Aquapanel	100
Çizelge 5.12. Çatı döşeme uygulaması bitirme malzemesi Ondüle Levhalar	101
Çizelge 5.13. Çatı döşeme uygulaması bitirme malzemesi Kiremit.....	101

Çizelge 5.14. Çatı döşeme uygulaması bitirme malzemesi bitki katmanı	102
Çizelge 5.15. Maliyet Tablosu	103



1. GİRİŞ

Günümüz koşulları çerçevesinde yaşam standartlarının gelişimi ve değişimi insanların konfor ihtiyaçlarını da etkilemektedir. Konfor ihtiyaçları, insanların çevreye duyarlı yapıların oluşturulmasında ve toplumun birbirleri ile olan ilişkisinde ortak etki olarak ortaya çıkmaktadır. Bunun sonucunda, çevreye duyarlı ve sürdürülebilir tasarımın meydana gelmesi sağlanarak konforlu iç mekanlar oluşmaktadır (Hayles 2015). Çevrenin, iç mekanın ve kullanıcıların üzerindeki olumsuz etkileri azaltarak olumlu etkileri arttırmak, bu süreçte tüm malzemelerin ve sistemlerin bir bütün halinde entegrasyonu sayesinde oluşmaktadır (Kang ve Guerin 2009). Bu malzemelerin bir araya gelmesiyle birlikte hem iç mekan konforunun hem de çevreye verilecek zararın azaltılması büyük önem taşımaktadır. 2019 yılında dünyada, 2020 yılında Türkiye’de başlayan pandemi nedeniyle insanların evde daha çok vakit geçirmesi iç mekanlarda hava kalitesinin, termal konforun, ısıtma / soğutma enerji talebinin ve artan elektrik masraflarının önemini ortaya çıkarmaktadır. İnsanların vakitlerinin çoğunu ev ya da ofis gibi kapalı mekanlarda geçirmeleri, binalarda daha sürdürülebilir çözümlerin sağlanabilmesi ve tasarruf yönünden gelişimlerin artmasına neden olmaktadır.

İç mekanda sürdürülebilirlik, binaların sürdürülebilir yapılara dönüşmesi, yenilenebilir enerji kaynakları kullanımının binalara entegrasyonunun önemli olduğu fikri literatürde yaygınlık kazansa da, uygulamada sürdürülebilir seçimler yapma sıklığının halen sınırlı olduğu gözlenmektedir. Sürdürülebilir iç mekanlar sayesinde, sağlıklı, konforlu ve ekonomik alanlar yaratılması mümkündür. Özellikle bu sebeplerden dolayı kullanılmayan atıl alanların yeniden dönüştürülmesi bu anlamda önemli bir adımdır. Bu alanlara örnek olarak kapalı havuzlar verilebilir. Her mekan için olduğu gibi kapalı yüzme havuzlarında da kullanıcıların mekanda termal olarak rahat hissetmeleri, nemin rahatsız etmemesi için birçok yöntem bulunmaktadır. Binada elektrik tüketimine neden olan aydınlatma, su ısıtma, hava ısıtma ve soğutma ihtiyacı gibi faktörler, hava sızdırmazlığının az olduğu malzemeler ve yapım tekniğinin ısı köprüsünü oluşturarak kullanılması ile enerji verimliliğinin sağlanmasına engel olmaktadır. Ülkemizde kapalı havuzların işletim masraflarının önemli olduğu, özellikle turizm sektöründe ısıtma ve soğutma ihtiyacı masraflarının her sene maliyeti olumsuz etkilediği bilinmektedir. Enerji tüketiminin belli seviyelerde tutulması ve var olan minimum enerji talebi tüketimini sağlamak, hem ekolojiye hem de yurtdışından ithal olarak elde edilen enerji kaynaklarında tüketimin azaltılmasına yardımcı olacaktır. Otel binaları kapalı havuz alanları, eğitim yapıları kapalı havuz alanları ve spor komplekslerinde bulunan yarı olimpik kapalı havuzlar, toplam enerjinin büyük bir bölümünü kullanım sırasında harcamaktadır. Bir binanın enerji verimliliği sağlayabilmesi için temelde iki faktör etkindir. Bunlar sırasıyla dış mekan iklim özellikleri ve iç mekan konfor koşullarıdır. Binanın konumu, yönelimi, doğal havalandırma özellikleri (ventilasyon) ve pasif güneş sistemleriyle sağlanan enerji verimliliğinde rol oynamaktadır. Bu doğrultuda dış mekan iklimsel özelliklerin de etken olduğu iç mekan konfor koşullarını oluşturan, binanın ısıtma özellikleri, yalıtım, ısıtma-soğutma, havalandırma, aydınlatma veya sıcak su sistemleri de enerji verimliliği açısından önemli rol oynamaktadır. Bu kapsamda verimlilik, konfor ve ekolojik olarak bina standardı kabul edilen Pasif Ev (Passivhaus) bir çok uygulama testinden geçmiş bir inşaat konseptidir. Pasif ve aktif sistemleri bir arada kullanan Pasif Ev (Passivhaus) konsepti her yapıda uygulanabilen bir sistemdir. Passivhaus Enstitüsü’nün (PHI) 2015 yılında yayınladığı kriterler kitapçığına göre, bu sistem ile ev,

ofis, otel, spor salonları ve kapalı yüzme havuzları gibi küçük ve büyük ölçekteki standart binalarda %90, yeni yapılan binalarda %75'e kadar enerji tasarrufu sağladığı kanıtlanmıştır (Anonymous 10). Almanya'da ilk örnekleri yapılan bu konsept ile soğuk iklimlerde uygulanması yaygınlık kazanan ve konut olarak başlayan yapılar büyük ölçekli kapalı havuzlara kadar uygulanmaya devam etmektedir. Günümüzde küçük ölçekli konut, ofis ve otel yapıları da artık sıcak iklimlerde uygulanmaya başlanmıştır. Pasif Evlerde temel amaç yalıtıma önem verilerek ısı kaybını engellemek, yazın ve kışın ısıdan tasarruf ederek elektrik tüketimini azaltmaktır.

Araştırma kapsamında yapılan literatür taraması sonucunda bu konu alanında yapılan çalışmaların sayıca fazla olmadığı gözlenmektedir. Bu doğrultuda, Pasif Ev standartlarına uygun yapım yöntemlerinin soğuk iklimlerde ısıtma yüklerine etkisi bu çalışma kapsamında incelenecektir. Soğutma yükünün fazla olduğu Antalya gibi bölgeler için uygun konfor koşullarına uyumu araştırılacaktır. Bu nedenle sıcak iklim bölgelerinde yeni yapılacak binalar için yapım yöntemleri, bina kullanıcılarının yoğunluğu, kullanılan yapı malzemeleri ve geçirgenlik katsayıları gibi parametreler yapay zeka uygulaması olarak sinirsel bulanık mantık yöntemi ile incelenerek gerçekçi sonuçlar araştırılacaktır. Bu inceleme MATLAB, çok paradigmatlı sayısal hesaplama yazılımı kullanılarak sinirsel bulanık mantık yöntemi ile ortaya çıkabilecek eksikliklerin tamamlanması yönünde örnek bir çalışma olacaktır. Ortalama 1700-2000 m² alana sahip bu mekanlar yüksek neme sahip olmasından dolayı Pasif Ev standartlarının büyük mekanlarda ve sıcak-nemli iklimlerde uygulanmasının maliyete ve enerji verimliliğine etkisinin soğuk iklimlerde uygulandığı kadar verimlilik ve kar sağlayıp sağlamadığı araştırılacaktır. Bu araştırmanın amacı, yarı olimpik kapalı havuzlar tasarlanırken iklimin etkisi ile Pasif Ev standartları gereklilikleri göz önüne alındığında termal konfor ve ısıtma/soğutma ihtiyaçlarının doğal yollar ile mekanik sistemlerin bir arada kullanımı sonucu ihtiyacın karşılanmasıdır. Bu ihtiyaçlar, yenilenebilir enerji kaynakları olan mevcut güneşin ve hakim rüzgarın etkisiyle iç mekanda iyileştirmenin yapılması yoluyla sağlanacaktır. Özellikle Pasif Ev'lerde soğuk iklimin göz önüne alındığı tasarımların, sıcak ve nemli iklimlerde performans sağlayabilmesi yönünde tasarımın, yapay zeka ile farklı alternatifler oluşturularak aralarında karşılaştırmalar yapılması ve yeni yapılacak olan tasarımlara, uygulama olarak yol gösteren verilerin elde edilmesi amacıyla sağlanacaktır. Alternatifler, enerji verimliliği sağlayan parametrelerin etkisinin karşılaştırılması yönünde araştırma yaparak oluşturulacaktır.

Kapalı havuzlar sıcak iklimlerde açık havuzlara göre daha az talep görmektedir. Mekan içerisinde hava sirkülasyonunun az olması ve kullanıcı sayısı da iç mekan konforunu etkileyen koşullardır. Özellikle sıcak iklimlerde iç mekanda biriken ısı yaz aylarında kullanıcı için olumsuz etki yaratabilmektedir. İç mekan ısı ve nem değerinin sabit kalması büyük ölçekli binalarda zor olması nedeniyle enerji ve ısı kaybı gerçekleştiğinden sürekli ısıtma veya sürekli soğutma talebi ortaya çıkmaktadır. Doğru malzeme ve doğru yöntem ile küçük ölçekli çalışmalarda başarılı olan Pasif Ev konseptinin büyük ölçekli yapılarda da uygulanmasına katkı sağlayabileceği öngörülmektedir. Tez çalışmasında yapılan araştırmanın amacı doğrultusunda, sıcak iklime sahip bir bölgede büyük ölçekli yapıların Pasif Ev konsepti ile uygulanması sonucu enerji verimliliğinin küçük ölçekli yapılar ve soğuk iklimler kadar enerji verimliliği sağlayıp sağlayamayacağına yönelik sorulan sorular araştırmanın çıkış noktasını oluşturmaktadır. Bu nedenle yapıda kullanılacak malzemeler ve ısı geçirgenlikleri,

tasarımda uygulanacak pencere/duvar oranları, doğal havalandırma, binanın yönlendirilmesi ve kullanıcı sayısı önemli parametreleri arasındadır.

1.1 Çalışmanın Amacı

Tez çalışmasında, soğuk iklime uygun olacak şekilde tasarlanmış olan küçük ölçekli yapılara uygulanan, yüksek enerji tasarrufu sağlayan Pasif ev konseptinin sıcak iklimlerde büyük ölçekli yapılara uygulanmasına yönelik etkileri tartışılmıştır. Bu yapıların duvar, taban / döşeme, tavan/ çatı ve pencereler gibi yapı elemanlarında kullanılan malzemeler ve kalınlıkları değerlendirilmiştir. Yapı içerisinde pencere ile havalandırılmanın olması / olmaması ve kullanıcı sayısı da iç mekanda kullanım esnasında termal konforun sağlanmasına etkisi olacağı için çalışmada yalıtım, termal konfor ve havalandırmanın Pasif Ev konseptinde enerji verimliliğinin sağlanmasına ve kullanılacak elektrik tüketimine ihtiyacın azaltılmasına yönelik cevap aranacaktır. Çalışma ile mevcutta dünyada 3 örnek yapısı olan soğuk iklimlerde uygulanmış Pasif Ev konseptine sahip kapalı havuzlara, sürdürülebilirlik ve uygulanabilirlik açısından tartışılması amaçlanmıştır. Bu amaç çerçevesinde;

- Sıcak iklimlerde uygulanacak yapılarda pasif ev konseptinin uygulanması ile enerji verimliliğine etkisinin değerlendirilmesi,
- İklimin etkisiyle beraber büyük ölçekli yapılarda uygulanan pasif ev konseptinin ısıtma ve soğutma yüklerine olumlu / olumsuz etkisini incelemek çalışmanın başlıca hedeflerinden biridir.

Burada elde edilen sonuçlara ek olarak literatüre katkı sağlayacak alt amaçlar;

- Havalandırma için pencerelerin açılmasının sıcak iklimler için uygun olup olmamasın değerlendirilmesi,
- Yapı elemanlarının karşılaştırılması yapılarak en fazla enerji kaybının yaşandığı alanların belirlenmesi,
- Duvar ve pencere oranlarına göre tasarım yapılacak yapıda enerji kaybının pencere konumlarına göre karşılaştırmalı değerlendirmesi,
- Yarı olimpik gibi ölçüleri belli bir kapalı havuz yerine farklı formlarda da kapalı havuzlara sahip yapıların oluşturulacak rehber göre tasarımları sonucu dış cephe malzeme katmanları, tavan/ çatı malzeme katmanları, taban / döşeme malzeme katmanlarının oluşturulmasını incelemek çalışmanın diğer hedeflerindendir.

1.2 Çalışmanın Kapsamı

Bu çalışmanın kapsamı sıcak iklime sahip Antalya'da büyük ölçekli yapılara yönelik geniş açıklıklara sahip olan yarı olimpik kapalı havuzlarda Pasif ev konseptinin soğuk iklimlere uygulanması ile farklılıkları ve benzerlikleri değerlendirilerek enerji verimliliği ile elektrik tüketimine etkisinin tartışılması ile sınırlıdır. Yeni yapılacak bir binada yapı elemanlarının bina yönlendirilmesinin ve çevresel etkisine bağlı yapı üzerinde yapılacak tercihlerin bir araya getirilerek sıcak iklimlerde yarı olimpik kapalı havuz yapımında rehber olmayı amaçlamaktadır. Soğuk iklimlerdeki ısıtma yükünün fazla olmasıyla Pasif ev konseptinin uygulanması ile bu yükün azaltılmasının, sıcak iklimlerde soğutma yükünün fazla olması nedeniyle azaltılmasına etkisinin olup

olmayacağı değerlendirilmektedir. Bu kapsamda elde edilen sonuçlarla Antalya bölgesinde oteller, spor merkezleri, eğitim yapıları gibi farklı formlara sahip kapalı yüzme havuzlarında da yaz dönemi kullanıcıların azalmasına engel olarak iç mekanın konfor şartları artmış ve işletmeye yük olmayan yapılar elde edilmesine katkı sağlayabilmesi amaçlanmıştır. Araştırma sonuçları, ülke çapında turizm sektörünün nabzını tutan Antalya genelinde yer alan kapalı havuz yapıları kapsamında ısıtma ve soğutma gibi işletme masraflarını azaltacak nitelikte sürdürülebilir, ekolojik yaklaşımların uygulanmasına ve konu ile ilgili literatüre de katkı sağlayacaktır.

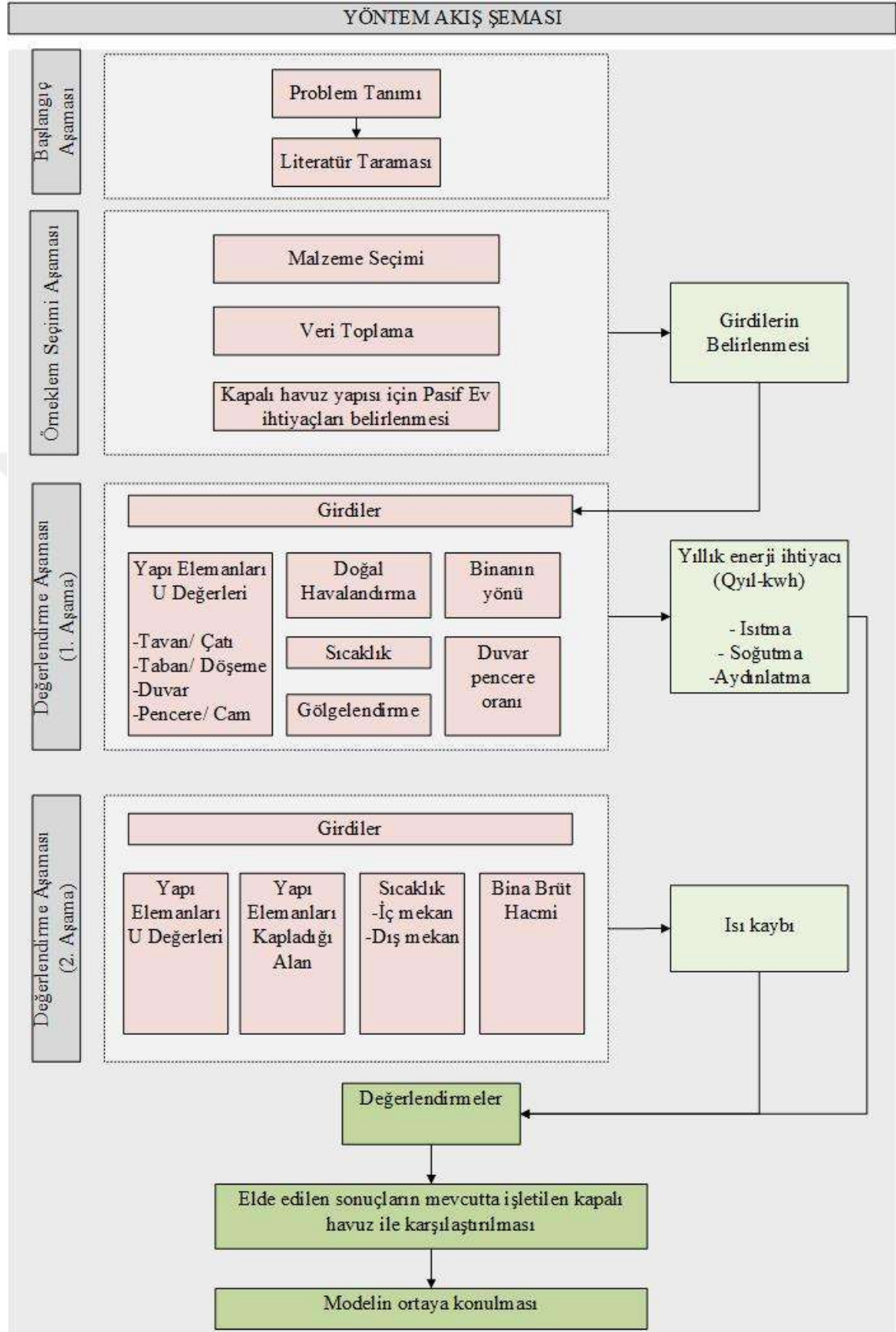
1.3 Çalışmanın Yöntemi

Tez çalışması başlangıç aşaması, örneklem seçimi aşaması ve 2 aşamalı değerlendirme analizleri olacak şekilde toplam dört aşamadan oluşmaktadır.

Başlangıç aşamasında öncelikle problemin tanımı belirlenerek kapalı yüzme havuzlarının sıcak iklimlerde yaz dönemleri kullanımlarının azalması ve insanların tercih etmemesinin önüne geçilmesi hedeflenmiştir. Aynı zamanda günümüz koşullarında enerji ihtiyacının tüm dünyada sıkıntı yarattığı günlerde enerji verimliliği sağlayarak işletmelerdeki soğutma ve ısıtma yüklerini azaltacak çözümler aranmıştır. Bu kapsamda Pasif ev konsepti araştırılarak sertifika verilmiş sıcak iklime sahip binaların yapı elemanları incelenmiştir. Ayrıca güncel literatür taranarak kapalı havuz yapısı ile ilgili dünyada ve Türkiye’de yapılan çalışmalar, bunlara ait yayınlar, bildiriler, makaleler ve tezler incelenmiştir. Konuda belli bir çerçeve oluşturulabilmesi için kapalı havuz yapısının boyutlarının sabit olabileceği yarı olimpik kapalı havuz belirlenmiştir.

İkinci aşama olan örneklem seçiminde yapı üzerine kullanılacak malzemelerin verilerinin toplanması ve bu malzemelerin ısıl geçirgenlik değerlerinin bulunması yer almaktadır. Bu aşamada Pasif ev konseptine ait ihtiyaçların belirlenmesi ile verileri kullanılacak yazılım için sayısal değerlere aktarılması yer almaktadır.

Üçüncü aşama olan değerlendirme analizlerinde ilk aşama TS 825’te değerlere ve formüllere uygun olarak malzemelerin ısıl geçirgenliklerinin değerlerini hava sıcaklığı, mekan büyüklüğü, yapı elemanlarının (tavan, taban, duvar, pencere) mekanda kapladıkları alan gibi bilgileri her biri bir kapalı havuz tasarımı için bir araya getirildiğinde girdi olarak kullanılıp çıktı olarak da havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı, iç ısı kazancı ve yıllık ısıtma enerjisine ait veriler listelenmiştir. Burada çıktı olan yıllık ısıtma enerjisi, ikinci aşamada girdi olarak kullanılan MATLAB yazılım programı sayesinde bulanık mantık ve sinirsel bulanık mantık yöntemlerinin birleşimi olan ANFIS yapay zeka ile tekrar değerlendirmeye alınmaktadır. ANFIS ile kullanılacak girdiler, yapı elemanları ısıl geçirgenlik değerleri, doğal havalandırmanın olup olmaması, binanın yönlendirilmesi ve mekanı kullananların sayısı ile birlikte tasarlanacak mekanın duvar/pencere oranını çıktı olarak belirlenmesini sağlamıştır. Tüm elde edilecek veriler ile pasif ev konseptine ait standartlar karşılaştırılarak Akdeniz iklim koşullarına uygun pasif ev standartlarına sahip yarı olimpik kapalı havuz modelinin ortaya konulması sağlanacaktır. Tüm aşamalar Şekil 1.1’de bulunan yöntem akış şemasında belirtilmiştir.



Şekil 1.1. Yöntem Akış Şeması



2. KAYNAK TARAMASI

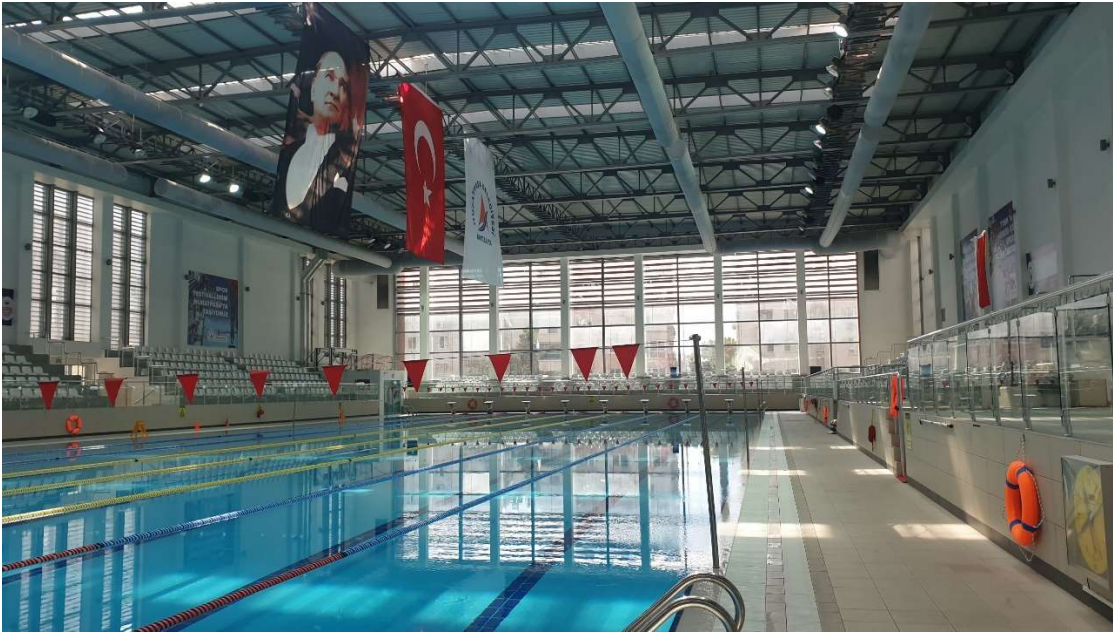
Literatür taramasında genel olarak geçmişten günümüze kadar yayınlanmış olan kapalı yüzme havuzu yapıları iç mekan tasarım, termal olarak rahatlık, sağlıklı iç ortam, konfor ve sürdürülebilirlik ile ilgili çalışmaların araştırılmasına öncelik verilmiştir. Tezin yöntemi olarak uygulanacak yapay zeka sistemi olan ANFIS ile yapılmış enerji verimliliği, konfor, iç hava koşulları ilgili veriler ayrı bir başlık altında incelenmektedir. Bunlarla birlikte farklı yöntemler ile yapılmış nitel ve nicel çalışmaların yer aldığı ekolojik ve sürdürülebilirlik ile ilgili yayınlar literatür taramasında sıfır enerji bina, neredeyse sıfır enerji bina, sürdürülebilir bina ve pasif evler olmak üzere alt başlıklarla incelenmektedir. Son olarak Türkiye’de ve dünyada uygulanan mevzuatlara yönelik araştırmada literatür taraması kapsamında ayrı bir alt başlık olarak incelenmiştir.

2.1 Kapalı Havuz Yapıları için Yapılan Çalışmalar

Kapalı yüzme havuzları eğlence, spor ve tedavi amacı ile kullanımlara sahiptir (Yuce vd. 2014). Bu havuzların kullanım amaçlarına göre farklı boyutlara sahip olması mümkündür. İçerideki kullanım işlevine göre nem miktarı, iç hava sıcaklığı ve havalandırma ihtiyacı değişiklik göstermektedir. Yıl boyunca her gün çalışma süresi olan kapalı yüzme havuzlarının yükü diğer binaların yüküne göre fazladır (Ciuman ve Kaczmarczyk 2021). Diğer yapılardan farklı olarak özel enerji ihtiyaçları olan, ısıtma ve elektrik yüklerinin fazla olduğu bir yapıdır (Kampel vd. 2014). Trianti-Sourna ve arkadaşlarının 1998 yılında yaptığı ölçümlere göre, Akdeniz iklimine sahip bir yüzme havuzunda iklim koşullarına bağlı değişkenlik gösterse de yıllık enerji tüketimi ortalama 4300 kWh/m²yıl iken karasal iklimde 5200 kWh/m²yıl’dır (Saari ve Sekki 2008; Trianti vd. 1998). Günümüz şartlarında ise enerji tüketimi, küçük bir havuz için yılda 8.000 kWh ile büyük bir havuz için yılda 15.000 kWh arasında değişmektedir (Anonymous 8). Enerji ihtiyacının fazla olması nedeniyle kapalı havuz yapılarında enerji yönetim ihtiyacını ve havuzlarda sürdürülebilir enerji yönetimi olması gerektiğini göstermektedir (Söğüt vd. 2018). Kapalı yüzme havuzları işletimlerinde enerji açısından en verimli kullanıma sahip olabilmesi için en doğru seçenek pasif sistemlerin kullanılmasıdır. Pasif sistemlerin binalarda kullanılması ile enerji talepleri %80-90 oranında azalırken, inşaat maliyeti geleneksel bir binadan sadece %5-10 daha yüksektir (Kołodziejczyk-Kęsoń 2021; Schnieders vd. 2002). Büyük ölçekli olan kapalı havuz yapılarında enerji verimliliğinin aktif sistemlerle sağlanması gerektiğini savunan Kampel ve arkadaşları (2013), öncelik olarak en çok israf edilen kaynakları tespit etmek ve sonra yeni teknolojiler kullanarak enerji verimliliğini sağlamak gerektiğini savunmuştur. Katsaprakakis (2015) ise her iki sisteminde kullanılması yönünde çalışmalar yapmıştır. Yüzme havuzları için farklı pasif ve aktif ısıtma sistemlerin uygulanması ile enerji verimliliği elde edilebileceği hakkında çalışmalar ortaya koymaktadır. Elde edilen bulgulara göre, pasif güneş enerjisi sistemleri, yüzme havuzlarının ısıtma yüklerini %90’dan fazla azaltmaktadır. Eğer aktif sistemler kapalı havuz yapısında kullanılacaksa 3,5 yıldan daha kısa sürede geri ödeme sağlayacağını ifade etmektedir. Ayrıca fosil kaynaklar yerine, biyokütle ısıtıcı ve güneş kolektörleri sistemi kullanmak enerji tasarrufunu maksimize etmektedir.

Kapalı yüzme havuza sahip binaların toplam enerji tüketiminin %95’inden sorumlu olan beş ana faktör vardır. Bunlar ısı havalandırma, iklimlendirme (Heating Ventilating and Air Conditioning / HVAC), su pompalama sistemleri, havuz suyu arıtma, ısıtma ve aydınlatma sistemleridir (Ribeiro vd. 2016). 2015 yılında dos Santos Fernandes

ve arkadaşlarının yayınladığı bildiride Portekiz’de Mangualde Belediye Yüzme Havuzunda bina enerji verimliliğini arttırmak için binanın yenilenmesi çalışması yapılarak Binanın ampüllerini LED aydınlatmalarla değiştirmişlerdir. Bunun sonucunda tüketilen enerji LED sayesinde azaldığı belirtilmektedir. Kapalı havuz yapılarında aydınlatma sistemleri üzerine Coelho ve arkadaşlarının (2016) yaptığı çalışmada da, yüzme havuzlarında günlük kullanım süresinin fazla olması ve büyük ölçekli bir yapı olması nedeniyle LED aydınlatma yatırımlarının yapılması finansal açıdan ve işletim masrafı açısından daha uygun olduğu sonucuna ulaştıkları belirtilmektedir (Coelho vd. 2016). Antalya’da bulunan işleme devam eden Muratpaşa Belediyesi Süleyman Erol Kapalı Yüzme Havuzu içinde Şekil 2.1’de görüldüğü üzere 36 adet aydınlatma elemanından 1 tanesi LED olarak değiştirilmiştir. Hem harcanan enerji (KWh) hem de diğer aydınlatma elemanlarından daha fazla ışık yayılımı sağladığı görülen bu mekanda LED kullanımları ile birlikte mekanda aydınlatma elemanı sayısının da azaltılabileceğini göstermektedir.



Şekil 2.1. Muratpaşa Belediyesi Süleyman Erol Kapalı Yüzme Havuzu, Antalya

Enerji tasarrufunda bir diğer önemli etken yapı elemanlarında kullanılan malzemelerdir. 2015 yılında dos Santos Fernandes ve arkadaşlarının doğal gaz ile enerji ihtiyacı karşılanan kapalı havuz yapısında yaptıkları araştırma sonucu elde ettiği bulgulara dış yalıtım uygulanması ve camların değiştirilmesiyle binada daha iyi yalıtım yapıldığı ve sonucunda doğal gaz tüketiminin azaltıldığını ortaya koymaktadır. Yalıtım malzemeleri ile ilgili yapılmış başka bir çalışmada Limane ve arkadaşları (2018) iç mekanda yüzme havuzlarında günlük iklim değişikliklerinin ihmal edilebilir bir etkiye sahip olduğunu belirtmiştir. Bunun sebebi olarak da bina kabuğunda kullanılan ısı yalıtımından dolayı olduğunu kanıtlamışlardır. Mekanda kullanılan yapı malzemeleri, yüzey dokuları, nitelikleri ve formları da istenilen nem miktarının korunması ve beklenen iç mekan sıcak değerlerinin sabit tutulması gibi performanslarını ve konforunu etkileyen unsurlardır (Yağlı 2019). Yılmaz vd.’ne (2022) göre iç mekan tasarımında her yapı

malzemesinin dikkatli ve doğru seçimi, özellikle mekanda oluşturulan yüzeylerden beklenen özelliklerin elde edilmesi açısından önemli olduğu ifade edilmektedir (Yılmaz vd. 2022). Bununla birlikte yaptıkları deneysel araştırmada olimpik yüzme havuzlarının fiziksel çevre faktörlerine yönelik algısal değerlendirmeleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Elde ettikleri sonuca göre, geniş açıklığa sahip olimpik yüzme havuzunda kullanılan lamine ahşap diğer malzemelere göre kıyaslandığında iç mekanın daha sıcak, sade, ferah ve huzurlu olarak tanımlandığı sonucuna varılmıştır.

Pasif sistemlerin ve kullanılacak aktif sistemlerin yapıların tasarlanma aşamasında planlamaya dahil edilmesi gerekmektedir. Akbulut vd. (2006)'nin güneş panelleri ve güneşi yoğunlaştırarak ışıınımları toplama ile enerji üretiminin sağlanması hakkında yaptığı çalışmada elde edilen bulgulara göre güneş enerjisinin kapalı olimpik havuzlarda kullanımlarının amaçlanması gerektiğini ortaya koymaktadır. Mevcut yapılarda aktif sistemler sonradan da dahil edilebilir. Ancak mevcut yapılarda aktif sistemlerden olan mekanik sistemler dışında güneşten ve rüzgardan doğal olarak yararlanabilmek için tasarım aşamasında pasif sistemlerle de desteklemek mümkün olabilir. Örnek olarak eski bir yapı olan, Finlandiyalı mimar Alvar Aalto tarafından tasarlanan The AaltoAlvari Su Sporları Merkezi 1998-2000 yılları arasında tesiste pasif sistemler ile yenileme yapılarak ısı enerjisi talebi %20 oranında azaltıldı ve iç mekan iklimi ve konfor seviyeleri önemli ölçüde iyileştirildi.



Şekil 2.2. The Aaltoalvari Su Sporları Merkezi Jyväskylä, Finlandiya (Anonymous 9)

Şekil 2.2’de yenilenmiş görseli bulunan yüzme havuzunun tasarlanan yeni sistemi esnek ve kullanıcıların ihtiyaçlarına göre çalışmaktadır. Yaşam döngüsü maliyetleri optimize edilerek ve çevresel etki en aza indirilmesi hedeflendiği belirtilmektedir (Anonymous 15).

Aydınlatma ve yapı elemanlarında kullanılan malzemeler dışında kapalı havuz yapılarına ait iç mekan konforunu etkileyen bir diğer faktör ise kullanıcı sayısıdır. İç

mekanda kullanıcı sayısının artması da iç mekan konforunu değiştiren durumlardan biridir. Sobhi ve arkadaşlarının 2022 yılında yaptıkları çalışma gösteriyor ki, kapalı yüzme havuzu mekanında kullanıcı sayısı arttıkça mekan içindeki ortalama sıcaklık ve ortalama iklim değerlendirme değerini tahmin eden bir endeks olan termal konforun tahmini ortalama oy (PMV) modeli değerleri artarken, ortalama bağıl nem değeri azalmaktadır. Bağıl nemin değerinin korunması termal konfor için önemli bir faktördür. Bu nedenle araştırmaları sonucunda mekanda kullanıcı sayısı oranı %25 kapasitesine sahip olduğunda ortalama sıcaklık ve PMV değerleri sırasıyla yaklaşık %8 artmaktadır. Aynı koşullarda %100 kullanıcı kapasitesi dolduğunda ise mekan içindeki ortalama sıcaklık ve PMV değerleri yaklaşık %122 artmaktadır ve ortalama bağıl nem değeri yaklaşık %10 azalmaktadır (Sobhi vd. 2022). Havalandırma kapalı havuz yapılarında nem değerini korumak için kritik bir faktördür. Nemin kullanıcının konforunu etkilememesi ve iç ortamın nem değerini ek enerji tüketimi nedeniyle geri kazanmak enerji tüketimi açısından istenmeyen durumdur. Bu durumda doğal havalandırma veya mekanik sistemler kullanarak havalandırmanın sağlanması gerekmektedir. Kapalı yüzme havuzlarının iklimlendirilmesinde, gerekli teknik önlemlerin alınması ve ekonomik çözümlerin gerçekleştirilmesi için iklimlendirme cihazlarının dış hava ihtiyacına, iç-dış ortam sıcaklıklarına ve nem değerlerine bağlı olarak otomatik olarak ayarlanması gerektiği belirtilmektedir (Arıcı ve Seçilmiş 2007).

İç ortam nemi için doğrudan bir düzenleme bulunmamaktadır ancak mekana göre nem miktarında değişiklik olması insanı rahatsız etmeyecek düzeyde olması gerekmektedir. İç mekan konfor şartlarını sağlayan bir özellik olan nem, spor müsabakaları için kullanılan yarı olimpik ve olimpik kapalı havuzlarda sporcuların performansını düşürebilmektedir. Sıcaklıkla bağlantılı olan nem, iç mekandaki buhar dengesidir. Havuzlar su içeren mekanlar olması nedeniyle iç mekan buharının diğer iç mekanlardan farklı olarak yüksek neme sahip olması doğaldır. ASHRAE standartına göre kapalı havuzlarda sıcaklık 26-28°C olması bağıl nemin %55-60 olması önerilmiştir (Anonymous 14). Neme bağlı olarak yapı malzemelerinde yoğuşmanın da meydana gelmesi mümkündür. Malzemeler arası geçişte su buharları birikme yaparak ısının diğer tarafa geçmesini de engelleyebilmektedir. Bu durumda malzeme üzerinde damlalar şeklinde çığ oluşumu veya terleme denilen yoğuşma olayı gerçekleşebilmektedir. Bazı durumlarda malzemenin içine buharın girmesi ve malzeme içinde yoğuşmanın başlaması gerçekleşebilmektedir. Bu durumda malzemenin yapısını bozabileceği gibi ısı kaybına yol açan ısı geçişini olumsuz etkileyen ısıl geçirgenlik değeri (U değeri) katsayısı artmasına neden olmaktadır (Heperkan vd. 2001). Bu durum da havalandırmanın önemini ve iç mekanda iklimlendirme mekanik sistemlerin daha fazla çalışmasına neden olabileceği gibi fazla elektrik tüketimine neden olabilmektedir.

Havalandırma verimliliklerinin değerlendirdiği Rojas ve Smith (2018)'in çalışmasında, yine yalıtımın önemi ve havalandırmaya etkisi ortaya çıkmaktadır. Çalışmasında bina kabuğunun yüksek termal kalitesi nedeniyle, geleneksel yüzme havuzlarına kıyasla hava değişim oranları azaltılabileceği ve bina yapısı üzerinde veya içinde yoğuşma riski olmadan devridaim havası önlenebileceğini ifade etmektedir. Aynı yıl yapılan bir başka çalışmada enerji tüketimi fazla olan kapalı havuzların işletilmesinde, ısı geri kazanım sistemi kullanılması ve buharlaşma miktarını azaltmak amacıyla havuz kullanılmadığında üzerinin örtülmesi gerektiği ifade edilmektedir (Peker 2018). Ciuman ve Kaczmarczyk (2021) yaptıkları deneysel çalışmada havalandırmanın enerji tasarrufu

sağlamasına yönelik Polonya’da kapalı yüzme havuzunda çalışma yapmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre, besleme havası hacim akış hızının azaltılması, havalandırma için harcanan enerjinin azalmasına neden olduğu belirtilmektedir. Bu durumda elektrikte %58 fark yarattığı iddia edilmektedir. İspanya’da spor merkezlerinde bulunan kapalı havuzlarda 2022 yılında yapılan çalışmada havalandırmanın iç mekan sıcaklığını sağlamasındaki önemine değinilerek aktif ve pasif sistemlerin kullanılmasıyla iç mekan sıcaklığını konfor değerlerinde tutmayı sağladıkları iddia edilmektedir. Pérez-Carramiñana ve arkadaşlarının (2022) yaptıkları bu çalışma, karşı cephelerde bulunan açıklıkların ve çatının tepesinde bulunan açıklıklara sahip doğal çapraz havalandırma çözümü basınç ve sıcaklıktaki farklılıklar nedeniyle hava akışının doğal olarak sağlanması ve çapraz havalandırmanın mekanda artması iddia edilmektedir. Bu yöntem ile sıcak ve kurak iklimde sahip İspanya’da iç mekanda istenmeyen ısı kazanımını ve sera etkisini doğal havalandırma ve güneş kontrolü ile azaltarak iç ortam sıcaklığını 15 °C’ye kadar düşürdükleri iddia edilmektedir. Bunun sonucunda mekanda istenilen sıcaklık değerini bu şekilde sabit tutabildikleri ve mekanik sistemler ile ek soğutma ihtiyacına gerek kalmadan aşırı ısınmanın kontrol edilmesini sağlamaktadır. Bu da mekanda toplam enerji ihtiyacının %65 azalmasına sebep olmaktadır ve klima gibi ek sistemlerin enerji tüketimini azaltmaktadır (Pérez-Carramiñana vd. 2022).

Enerji verimliliği sağlamak dışında mimari tasarımına da etki eden pencerelerin tasarımına yönelik Antoniou ve arkadaşlarının (2022) kapalı yüzme havuzlarında özellikle dalış yapanlar olmak üzere sporcuların güvenliği ve performansı, kamaşmanın önlenmesini ve genel olarak görsel konforu gerektirdiğinden büyük camların mekanda kullanılması önemli bir görsel rahatsızlık kaynağı oluşturduğundan söz etmektedir. Su, güneş ışınlarına maruz kaldığında yüksek yansımalarla neden olmakta ve çok parlak hale gelmektedir. Bu da spor yapan kullanıcılar için olumsuz bir durum yaratmaktadır. Kapalı havuz yapısında kullanılan yalıtımlı yapı malzemelerine ek, argon gazlı low-e (düşük yayma) cam kullanılması, çatının fotovoltaik panellerle gölgelendirme elemanı olarak kullanılması, ihtiyaca göre eğimli, hareketli yatay dış panjurlar ve izotermal havuz örtüsü kullanılması iç mekanda ve yapı kabuğunda yapılan uygulamalardır (Antoniou vd. 2022). Çalışma sonucunda Termal yüklerde %22,32 tasarruf, soğutma yüklerinde %30,10 tasarruf sağlandığını kanıtlamışlardır. Bununla birlikte kapalı havuz yapılarının yapay zeka yöntemi ile ideal havalandırma, HVAC yönetimi için 2014 yılında yapılmış Yuce ve arkadaşlarına (2014) ait bir çalışma bulunmaktadır. Tezin yönteminde kullanılacak bu çalışmada İtalya’da kapalı yüzme havuzunun enerji tüketimini ve termal konfor seviyesini tahmin etmek için bir Yapay Sinir Ağları yaklaşımı sunmaktadır. Yüzme havuzunda, birçok çevresel ve kontrol değişkeni doğrudan veya dolaylı olarak enerji tüketimini ve ısı konforu etkilemekte, girdi ve çıktı değişkenleri arasında matematiksel ilişkinin gelişimini zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, makul bir süre içinde bu ilişkiyi ortaya çıkarmak için yapay zeka yöntemi olan yapay sinir ağları tabanlı tahmin yaklaşımı kullanılmaktadır.

2.2 Yapay Zeka Yöntemi ile Yapılan Mimari Tasarım ve Enerji Verimliliği Çalışmaları

Yapay zeka birçok farklı disiplinde kullanılabilen bir karar verme yöntemidir. Mimaride tasarım sürecinde, enerji tasarrufu tahmininde veya konfor değerlerine sahip mekanlar yaratabilmek için mimaride kullanımları bulunmaktadır. Yapay zeka bulanık mantık yöntemi, sinirsel bulanık mantık ve iki sistemin birleşimi olan ANFIS mimari

anlamda yapılan çalışmaların literatürde yeri çok azdır. Literatürde mimari olarak ilk çalışma 2012 yılında Ferreira ve arkadaşlarının araştırmalarında yer alan istenen bir termal konfor seviyesi sağlanabilmesi ve enerji tasarrufu elde etmek amacıyla bir Isıtma Havalandırma ve Klima (HVAC) sisteminin kontrol edilmesi sorununu Yapay Sinir Ağları yöntemi ile ele almaktadır. 2013 yılında Marvuglia ve arkadaşları iç mekanda hibrit nöro-bulanık yaklaşımın etkinliğini incelemektedir. Ofis binaları için yapılan bu makalede iç mekan konfor ve bulanık yöntem ile özellikle kullanılan dış ve iç parametrelerin her biri için sıcaklık tahmin modelinin verimli bir şekilde tasarlanmasının önemini araştırmaktadır. Mimari tasarım olarak da bulanık mantık kullanılarak öneri oluşturulan modeller bulunmaktadır.

Yıldız ve Aktaş (2017) yürüttükleri araştırma kapsamında tasarım kararlarının sezgisellik barındırması amacıyla bina cephe tasarım sürecinde bulanık mantık yöntemini kullanmaktadır. Araştırma bulguları tasarım sürecini oluşturan birden fazla sayıda girdinin ve farklı ihtiyaç kümesinin, bulanık mantık temelli cephe tasarım modelini oluşturan sistem çıktısına etkilerini tartışmaktadır. Bulanık mantık yöntemiyle tasarlanan cephe modeli önerisinde sistemin girdilerini ofis mekanlarının analizlerinden elde edilen ısıtma değerlerinin, aydınlanma miktarları ve gürültü değerlerinin oluşturduğunu, sistemin çıktısını ise tasarlanan cephe modelindeki cephe modül açıklıklarının sayısal verilerinin oluşturduğu araştırma sonuçlarında ortaya konmaktadır. Bir başka model yaklaşımı Özer'in (2019) yöntem olarak bulanık mantık ile yapay zekanın kullanılması yönünde mimarlık alanında Konya kentinde yer alan Eski Sanayi ve Karatay Sanayide yer alan çalışma atölyeleri incelenmektedir. Alanda yer alan işyerlerinde yapılan araştırmalar sonucunda boyut, yönelme ve dış kabuk malzeme özellikleri gibi tasarım parametreleri bakımından 128 farklı bina alternatifi ortaya çıkmıştır. Bu modellerin kullanılarak binalarda enerji performansını arttırılabilecek önlemler alınması sağlanması hedeflenmiştir. Mimarlık dışında iç mekan tasarımlarında da yapay zekanın kullanıldığı çalışmalar bulunmaktadır. Mekan tasarımının analiz ve sentez aşamalarında yapay zekânın tasarımcı açısından faydalarını saptayan Yıldırım ve Demirarslan (2020) yaptıkları araştırma kapsamında yapay zeka sistemi ile iç mimar arasında mekan tasarım süreci açısından ortaklık kurulduğuna yönelik bir döngüden söz etmektedir. Araştırmacılar ayrıca yapay zekâ sistemlerinin iç mimarlık mesleğinin geleceği bağlamında etkili olabileceğini ve bazı değişimlerin meydana gelebileceğini de öngörmektedirler.

Yapay Sinir Ağları ve Bulanık Mantık konusunda termal konfor, iç hava kalitesi gibi alanında çalışmaların daha fazla olduğu görülmektedir. Taylan vd.'nin (2021) sinirsel bulanık mantık tekniği kullanılarak iç hava kalitesini iyileştirmek amacıyla yaptıkları çalışma kapsamında kardiyovasküler ve solunum nedenli ölümleri yapay zeka yardımı ile azaltılabilmenin ve kirliliğin zararlı etkilerinden uzaklaştırmanın yolları araştırılmaktadır. Valiyev vd. (2021)'in CAD programları ile geliştirilen tasarımın, bulanık bir yaklaşımla güneşin değerlerini değiştirerek daha doğru sonuçlar almak amaçlanmaktadır. Yeterli gün ışığı için güneş radyasyonu ile pencerelerin boyut ve durumunun hesaplamaları geliştirilerek sonuçlar seçilmiş bir tesisinin tasarımında üç boyutlu olarak geliştirilmiştir. López-Pérez ve José Jassón (2021) eğitim binasında yıllık soğutma yükü ile ilgili enerji tasarrufunun karşılaştırmalı bir çalışmada tasarruf sağlanabileceğine dair uygulama göstermektedir. Enerji tasarrufu, daha doğru modelleme kullanılarak belirlenen ortalama konfor değerini arttığını ortaya çıkarmaktadır. Tropikal iklimde sahip

binalarında, ANFIS dikkate alındığında, konforun artmasına izin vererek önemli soğutma yükleri ve enerji tasarrufu sağlar ve aynı zamanda bina sakinlerine termal konfor sağlamaktadır. ANFIS'in uygulanması daha çok karmaşık ve zaman alıcı farklı parametrelerin bir araya gelmesiyle sonuca ulaşma konusunda en kullanışlı yöntemdir. Le ve Nguyen'nin (2021) yaptıkları çalışmada konum, hava durumu, soğutma yük tahmini gibi bazı parametreleri girdi olarak kullanarak enerji tüketim tahmini ile kesin sonuç elde edilmesi amaçlanmaktadır.

Genel olarak incelendiğinde yapay zekanın çok girdili parametrelerin olduğu ve karar verme sürecinde zorluk yaşandığı tasarım ve enerji verimliliği konularında mimari ve iç mimari anlamda çalışmalar için son yıllarda araştırmalar artmaktadır. Özellikle mühendislik alanlarında kullanılan bu yöntemlerin mimari alanda da uygulanabilmesi tasarımcının karar verme sürecine olumlu katkısı olmakla birlikte zamandan tasarruf sağlanabilecektir. Özellikle çalışmaların daha ekolojik, sağlıklı ve konforlu tasarımlara sahip olabilmesi için tasarım aşamasında ve yapıyı uygulamaya başlamadan önce gerçekçi sonuçları değerlendirmek için sinirsel bulanık mantık, bulanık mantık ve ANFIS gibi yapay zeka yöntemlerinin uygulamalarının artması faydalı olacağını göstermektedir.

2.3 Dünya'da ve Türkiye'de Ekolojik Bina ve Pasif Ev Kavramı

Pasif Ev iklimin soğuk olduğu bölgelerde yapılan ev tasarımlarında enerjinin verimli kullanılması ve yıl boyunca konfor koşullarını sağlaması için geliştirilen uygulamadır. Enerji talebinin artması ile günümüz koşullarında yapılarda enerji tasarrufu sağlanması ile küresel ısınmanın etkisinin azaltılması hedeflenmektedir. Wolfgang Feist ve Bo Adamson tarafından Almanya, Damstadt'ta 1991 yılında yapılan ilk Pasif Ev uygulaması olan konut projesinin doğal iklim koşullarında, enerji ihtiyacı ve maliyeti düşürdüğü gözlemlenmiştir. Bu konut tasarımının, enerji tüketiminde başarılı sonuç vermesi ile 1995 yılında daha da geliştirilerek denemelere devam edilmiş ve pasif ev tasarımlarında üç temel standart ortaya koyulmuştur. Bunlar yapı yaşam sürecinde sırasıyla; ısıtma ve soğutma yükü ile kullanılacak enerjinin sınırlandırılması ile ısı kaybının engellenmesi, iç mekanda termal konforun sağlanması ve pasif sistemlerin uygulanmasıdır. İlk olarak Almanya'da çıkan bu tasarım prensibi daha sonra Kuzey Avrupa ve Kanada'da uygulanmış ve soğuk ülkelerde yaygınlaşmıştır. Günümüzde Akdeniz iklim tipinin yer aldığı, İspanya, İtalya ve Portekiz gibi ülkelerde de konut, ofis ve otel yapıları üzerinde uygulanmaya başlamıştır.

Türkiye'de 2022 yılına kadar üç adet Pasif Ev standartlarına uygun küçük ölçekli yapılarda uygulanmıştır. Bu yapılardan ikisi Gaziantep'te bulunan 2011 ve 2015 yıllarında yapımı tamamlanan ofis binalarıdır. Türkiye'de üçüncü Pasif Ev uygulaması bina ise 2017 yılında Ankara'da tamamlanmıştır. Henüz Türkiye'de sayılı olan Pasif Evlerin kullandığı memnuniyet ve elde ettiği enerji kazanımıyla birlikte sayısının artacağı öngörülmektedir. Sıfır Enerji ve Pasif Ev Derneği (SEPEV) pasif ev kullanımı ile ısıtma ve soğutma enerjisinden %90 oranında tasarruf sağlanacağını ifade etmektedir (Anonim 7). Bu fark ısıtma ve soğutma için kullandığımız fosil yakıtların azaltılmasında ekolojik dengenin bozulmasının önüne geçmesine ve aylık maliyetlerin azaltılmasına yardımcı olacak ciddi bir fark yaratmaktadır.

Ekolojik binaların uygulanması sadece pasif ev konsepti ile gerçekleşmemektedir. Binaların çevresel değerlendirmesi ve enerji performansı açısından bazı başlıklar altında

incelenebilmektedir. Bunlar genel anlamda sürdürülebilir binalar veya yeşil binalar olarak adlandırılmaktadır.

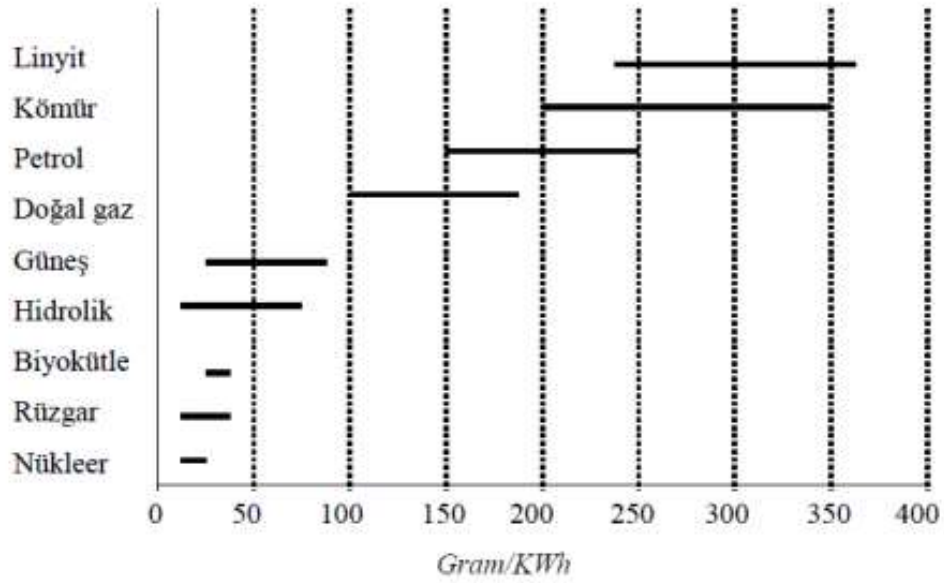
Khalfan (2017)'in "An Assessment of the Passivhaus Standard for a Hot and Arid Climate: A Case Study in Qatar" başlıklı doktora tezinde Katar'da sıcak kuru iklimde yapılan örnek ile Pasif Ev standartlarına yakın bir noktaya ulaşıldığı sonucuna varmış ve Pasif Ev konseptinin daha da geliştirilmesi ve dikkatli bir şekilde detaylandırılması ve anlaşılmasıyla Katar'da Pasif Ev binalarına ulaşılabileceğini öne sürmüştür.

Ekolojik dengeyi bozmayan, çevre üzerinde olumsuz etkiyi azaltan enerji talebinin azaltılması, malzeme geri dönüşü sağlayan ve malzeme üretiminden kullanımına kadar enerji verimliliğin sağlanması, pasif sistemlerin uygulanması ve enerjiyi yenilenebilir kaynaklardan kullanılması bakımından bazı stratejilere sahiptirler. Yeşil binaların sürdürülebilir enerji performansı açısından, binalarda yenilenebilir enerji kaynaklarının uygun şekilde uygulanması temel bir kriterdir (GhaffarianHoseini vd. 2013). İklim değişikliğinin günümüzdeki etkilerine karşılık yapılan uygulamalar ve bazı sektörel işbirlikleri ile birlikte binalarda da hedeflerin oluşturulması ve CO2 emisyonunun sıfıra indirilmesi bu tasarım konsepti için hedeflenmektedir. Avrupa Birliği bu konuda 2020 yılı itibarıyla binalarında enerji tüketimini azaltmaya odaklanmıştır ve 2050 yılına kadar, tüm büyük iş sektörleri sıfır karbon emisyonu olarak faaliyet göstermelidir (Chen Austin vd. 2021).

2.3.1 Sürdürülebilir Binaların Gelişimi

Sanayi devriminden sonra başlayan ve günümüze kadar artmaya devam eden enerji tüketim ihtiyacı, kullanılan enerji kaynaklarının çevreye zarar verdiğinin tespit edilmesiyle birlikte farkındalık oluşmaya başlamıştır. Özellikle karbondioksit oranındaki artış, iklim değişikliğinin sonuçlarının tehlikeli hale gelebileceğini göstermiştir. Günümüzde bu etki kutuplardaki buzulların erimesinden gözle görülür şekilde anlaşılmaktadır. Monahan'a (2013) göre, bu etkilerin doğrudan insanlık üzerindeki etkisi ise değişen ve normalden fazla etkiye sahip hava felaketlerine, tarımsal üretimdeki sıkıntılara ve halk sağlığında sorunlarına yol açacağı görülmektedir (Monahan 2013). Özellikle inşaat sektöründe, yerinde inşaat faaliyetleri, inşaat malzemeleri üretimi, bina atıkları, bina kullanımı ve malzeme taşımacılığında kaynaklanan karbondioksit emisyonlarındaki artış diğer sektörlerdeki duruma göre daha fazladır (Huang vd. 2017). İnşaat sektörünün yıllık enerji tüketiminde etkin rol oynadığı, inşaatın tamamlanmasıyla beraber kullanım aşamasına geçilen binalarda harcanan toplam enerji miktarının, dünya çapında yıllık enerji tüketiminin yaklaşık % 40'ını oluşturduğu belirtilmektedir (Oflozoğlu 2013). Türkiye'de ulaştırma sektörü toplam nihai enerji tüketiminin %20'sini, sanayi %43'ünü ve inşaat sektörü ise %37'sini oluşturmaktadır (İnan ve Başaran 2014). Konu hakkında yapılan araştırma sonuçlarında en önemli artışın 2008 yılında yaşandığı küresel ekonomik krizin, ABD de ortaya çıkmasının ardından hızla diğer ülke ekonomilerine yayıldığı belirtilmektedir. Tüm bunların yanı sıra inşaat sektörünün özellikle konut sektörünün küresel ekonomik krizin meydana gelmesinde ve yayılmasında önemli bir role sahip olduğu ifade edilmektedir (Özdemir ve Kılıç 2011). İnşaat sektöründe faaliyetlerin artması ile karbondioksit oranı artması ve ekolojik sorunların da arttığı yıl olarak görülmektedir. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) tarafından sunulan rapora göre 2018'de tüketilen elektrik miktarı 2010 yılına göre yaklaşık olarak iki kat arttığını belirtmiştir (Anonymous 13). 2018 yılında tamamlanan bu rapora göre

elektrik tüketiminin artması ile oluşan yüksek enerji talebi, karbondioksit emisyonlarının artmasıyla da doğrudan ilişkilidir. Enerji kaynaklarından olan fosil yakıtların kullanımlarının devam etmesiyle sera gazı oluşturmaları ve emisyonlar nedeniyle dünyanın ekolojik dengesinin bozulmasına devam etmesini engellemek için alternatif olarak yenilenebilir enerji kaynakları kullanımları ön plana çıkmıştır.



Şekil 2.3. Enerji kaynaklarının ürettiği karbondioksit miktarı (Ofazoğlu 2013)

Enerji üretimi amacıyla farklı kaynakların kullanımı sonucu ortaya çıkan karbondioksit miktarına yönelik değerler Şekil 2.3’de yer almaktadır. Bu sonuçlara göre tükenmekte olan fosil enerji kaynaklarının kullanımını minimum seviyelere indirgeyerek, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına yönelmenin gerekliliği net bir şekilde ortaya çıkmaktadır (Ofazoğlu 2013).

Sürdürülebilir binaların tasarlanması, bina çevresinin ve bölgede yaşayan toplumun ilişkisiyle birlikte ortaya çıkmıştır. Sürdürülebilir olmasıyla binaların enerji tüketiminde en az, çevreye zarar vermeyen binalar hedeflenmiştir. Binalarda ortak hedef yenilebilir enerjileri bina işletimine entegre edebilmektir. Aynı zamanda malzemelerin düşük karbon salınımı yapması, enerji tasarrufu sağlanması ve yeniden yıkım sonrası tekrar kullanıma açık malzemelerin (geri dönüşümlü) kullanılması bina yapılarında önemli özelliklerdendir. Bir yapının sürdürülebilir olabilmesi için bölgedeki çevrenin dikkate alınması gerekir. İklim faktörleri göz önüne alınarak yerel iklim, gelenek, kültür ve yaşam kalitesi bir arada tasarım yapılması ile sürdürülebilir bina yapılması sağlanır. Aynı zamanda iç mekandaki elektrik tüketimini azaltmak için enerjinin verimli kullanımının sağlanması gerekmektedir. İnsanların kullanılan inşaat malzemeleri yüzünden düşük kalitede hava solumalarının engellenmesi ve ekolojiyi bozmayan çevreye zararlı emisyon sağlamayan malzemelerin tercih edilmesi de sürdürülebilir bina yapımında dikkat edilmesi gereken özelliklerdendir. Tüm bina yaşam döngüsü boyunca

yerel ve küresel ekosistem dikkate alınarak tasarım yapıldığında sürdürülebilir binanın temelleri atılmaktadır.

Sürdürülebilir binaların ilkeleri şu şekildedir;

- İç hava kalitesinin iyileştirilmesi,
- Enerji verimliliğinin sağlanması,
- Ekolojik ve geri dönüştürülebilir malzemelerin kullanılması,
- Çevreye zarar vermeyen ekolojik tasarımların uygulanması (Fischer, 1992)

Tasarımda genellikle yeşil ve sürdürülebilir terimleri birbirinin yerine kullanılmaktadır. Hayles'e (2015) göre, ikisi arasında bir ayrım yapmak gereklidir. Yeşil tasarım insanların sorunlarına onların sağlık, güvenlik ve refahına yönelik sürdürülebilir tasarım daha küresel bir yaklaşımı içermektedir. Bu da gezegenin sağlığı, güvenliği ve refahı adına insanların gelecekte kendi kendilerine yetebilme kabiliyetlerini kaybetmeden ihtiyaçlarını karşılayabilmesi anlamında ifade edilmektedir (Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu 1987; Hayles 2015). Arslan'a (2017) göre, yeşil ve sürdürülebilir terimleri birbirine benzese de aynı kapsamda birbirleriyle örtüşmemektedir. Bunun sebebi olarak yeşil binalar yenilenebilir enerji kaynaklarının yapılarda kullanılmalarının sağlanması, iç mekanda sağlığa zararlı uçucuların olabildiğince az kullanılması ile sağlıklı mekanlar yaratmak, sularda gri su kullanımları ile geri dönüşümün bahçede kullanılmalarının sağlanması ve düşük oluşum enerjisine sahip malzeme kullanımlarıdır (Arslan 2017).

Dünya geneline bakıldığında sürdürülebilir binalar için bazı değerlendirme yöntemleri bulunmaktadır. Bunlardan en yaygın olanı Amerika'da kurulan LEED, Almanya'da DGNB, Avustralya'da Greenstar, Japonya'da CASBEE ve İngiltere'de BREEAM sertifika sistemleri bulunmaktadır. Bu sertifikasyonlarda amaç yeni yapılan binalarda ve mevcutta kullanıma devam eden binaların üzerinde inceleme yapılarak beş temel alan değerlendirilir. Bu temel alanlar sürdürülebilir alan planlaması, iç ortam kalitesi, suyun verimli kullanımı, enerjinin verimli ve yenilenebilir kullanımı ile malzeme ve kaynak kullanımıdır (Arslan 2017).

Sürdürülebilir binalar kendi içerisinde karbondioksit salınımının azaltılmasına yönelik sıfır enerji binalar, neredeyse sıfır enerji binalar ve enerji tasarrufu sağlanmasına yönelik Pasif Ev binalar olmak üzere farklı konseptlere sahiptirler. Pasif Ev konseptini diğerlerinden farklı yapan ilkeler ise enerji verimliliğini sağlayabilmek için yapı elemanlarında kaliteli yalıtım malzemesinin kullanılması, ısı köprüsüz tasarım olması, hava geçirmez yapıya sahip olması ve havalandırmadır.

2.3.2 Sıfır Enerji ve Neredeyse Sıfır Enerji Binalar

“Sıfır enerji binalar” ve “neredeyse sıfır enerji binalar (sıfır enerjiye yakın binalar)”, karbondioksit emisyonlarının azaltılması, emisyonların sıfıra indirilmesi ve binanın enerji tüketiminin azaltılmasını veya tamamen enerji talebini karşılamasını hedeflemektedir. Sıfır enerji ve neredeyse sıfır enerji binalar aynı konuda yapılan çalışmalar olsa da iki farklı başlıkta sınıflanmaktadır. Sıfır enerji binalarda hedef şebekeden enerji almayı bırakarak tüm enerji ihtiyacını bina içinde karşılamaktır. Bunu

güneş enerjisi, rüzgar enerjisi gibi yenilenebilir enerjiler kullanılarak yapı içinde ve üzerinde yapılan ek mekanik ihtiyaçlar ile çözülmesi ile ek olarak pasif sistemlerin kullanılmasıyla sıfır enerji binalar konsepti uygulanmaktadır. Sıfır enerji binalarda karbon salınımının sıfır olması ile kullanılan teknolojilerin yardımıyla fazla üretilen enerjinin de şebekeye geri verilmesi mümkündür. Sıfır enerji binalar enerji kullanımı açısından kendi enerji talebini üretmesi nedeniyle şehir şebekesinden herhangi bir ihtiyaç karşılamamaktadır (Oflozoğlu 2013). Sıfır enerji binalar ilk olarak 1975'de ortaya çıkmıştır. Soğuk iklime sahip Danimarka'da küçük ölçekte ev kullanımı olarak geliştirilen binanın yapımı 1975'de Danimarka Teknik Üniversitesi'nde inşa edilmiştir ve 1975-1976 yılları arasında ölçümleri yapılarak incelemeler yapılmıştır (Esbensen ve Korsgaard 1977). Neredeyse sıfır enerji binalar ise sıfır enerji binalar ile aynı prensibe sahip olmasına rağmen tamamen enerji talebini kendisini karşılayamayan veya neredeyse sıfıra yakın karşılamakta olan binalara verilen isimdir. Neredeyse sıfır enerji binalara yönelik ilk araştırmalar ise 2000'li yıllarda başlamıştır (Panagiotidou ve Fuller 2013). Bu konseptte amaç fosil yakıt kullanımının sıfırlanması ve yenilenebilir enerji kaynaklarını binada veya binaya ait çevrede kullanabilmektir. Bazı ülkeler bu konsepti farklı isimle adlandırsa da amaç aynıdır. Örneğin Avrupa'da neredeyse sıfır enerji bina, Amerika'da Net Sınıf Enerji Bina (netZEB), Avustralya'da Sıfır emisyonlu bina, Türkiye'de Sıfır Enerji Bina olarak isimlendirilmişlerdir (Çalapkulu 2020).

Sıfır enerji binalarda genel belli kriterler baz alınmaktadır. Bunlar(Wilberforce vd. 2023; Peterson vd. 2015; Marszal vd. 2011; Sissine 2007);

- Hizmet süresi boyunca enerji tüketiminde önemli bir azalma ihtiyacı
- Enerji kaynaklarından gelen enerji talebinin dengelenmesi,
- Yenilenebilir enerji kullanımı,
- İç mekanın konfor sıcaklığı ve enerji verimliliği,
- Minimum net karbondioksit salınımı,
- Finansal olarak uygulanabilirliğidir.

Türkiye'de sıfır enerji binalar aşağıda sıralanan kriterler çerçevesinde gerçekleştirilmektedir (Çalapkulu 2020);

- Binalarda ısı yalıtım uygulamaları TS-825 ısı yalıtım standartlarına uygun bir şekilde gerçekleştirilmektedir.
- Başta Akdeniz iklim tipinin hakim olduğu bölgeler olmak üzere çoğu binada sıcak su ihtiyacı güneş kolektörleri aracılığıyla temin edilmektedir.
- Kapı ve pencere gibi yüzeylerde güneş ve ısıyı kontrol eden cam yapı malzemelerinin kullanımı tercih edilebilmektedir.
- Elektrik ihtiyacını gidermek üzere binalarda, yapı kabuğu veya çatı düzleminde tesis edilebilen fotovoltaik paneller kullanılmaktadır.
- Toprak kaynaklı ısı pompaları, binalarda ısıtma ve soğutma ihtiyacını sağlamak amacıyla tercih edilebilmektedir.
- Güney cepheler trombe duvar tekniği kullanılarak inşa edilmektedir.
- Duvar ve tavan yüzey kaplaması için alçıpan yapı malzemeleri kullanılmaktadır.
- Hibrid aydınlatma kullanılmaktadır.

Bu şekilde binalarda fosil yakıt kullanımını azaltmak, yenilenebilir enerji kaynaklarından en üst düzeyde yararlanmak, sürdürülebilir olmak ve inşaat için enerji tasarrufu kapasitesini kullanmaktır. Avrupa Birliği Binaların Enerji Performansı Direktifi'ne göre, Avrupa Birliği ülkelerinin 2020 yılı sonuna kadar tüm yeni binaların neredeyse sıfır enerjili olmasını, 31 Aralık 2018'den sonra ise tüm yeni kamu binalarının neredeyse sıfır enerjili olmasını sağlamasını şart koşmaktadır (Anonymous 6). Ayrıca 2030 yılına kadar mevcut neredeyse sıfır enerjili binalardan sıfır emisyonlu binalara geçmesini önererek fosil yakıt kullanımlarını binalarda tamamen bitirmek istedikleri bir adım atmış oldular.

2.4 Pasif Ev Binalar

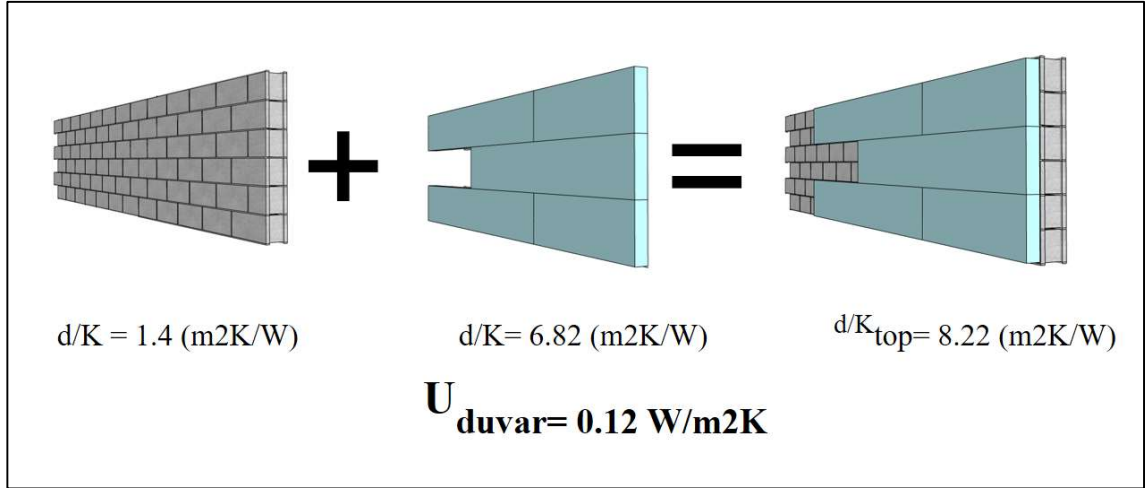
1980'lerin ortalarında düşük enerjili bina, İsveç ve Danimarka'daki yeni binalar için yasal olarak gerekli bir enerji standardıydı (Anonymous 7). Pasif Ev (Passivhaus) binalar ilk olarak 1988 yılında Almanya'da ortaya çıkmıştır. Passivhaus Enstitüsü (PHI) tarafından onaylanan binaların enerji verimliliği sağladığı ve enstitünün belirlediği uygun koşulları sağladığına dair verilen sertifikasyon dünya çapında geçerlidir. İlk geçerlilik ise Çin-Alman Bina Enerji Verimli İşbirliğinin kurulmasından sonra, pasif ev dünyada ünlü olmuştur (Wilberforce 2023). Düşük enerji binalara ek bazı kriterler eklenerek oluşturulan Pasif Ev, yalıtımın iyileştirilmesi, ısı köprülerinin önlenmesi, hava geçirmezlik, yalıtımlı cam ve kontrollü havalandırma ile daha verimli standartlarda yapılar oluşturulmuştur. Yeni inşa edilen binalar veya mevcut binaların yenilenmesi dahil olmak üzere küçük ölçekli konut binalarından büyük ölçekli otel binalarına kadar, özellikle Almanya, pasif yapıların geliştirilmesi ve ekolojik ayak izlerine odaklanması sayesinde sürdürülebilirliğe güçlü bir vurgu yapmaktadır.

Almanya, pasif enerji ve yenilenebilir enerji kullanmaya başlayan ilk ülke olmuştur. Bu nedenle Pasif Ev standartlarına göre bina yapım ve işletim sistemi başta olmak üzere diğer tüm ülkelerde lider konumdadır. Dünya üzerinde soğuk ülkeler başta olmak üzere Türkiye'de dahil çoğu ülkede uygulanmaktadır. Pasif yapıların temel prensibi, bina zarfındaki ve içindeki tüm ısı akışlarını en aza indirmektir. Pasif Evler, mümkünse, pasif güneş enerjisi kazanımlarından da yararlanır. Almanya'da ortaya çıkan pasif ev yapıları soğuk iklimlerde yapılmaya devam etmiştir. 2015 yılına kadar Avrupa'da onaylı 25.000 yapı bulunmaktadır ve bunların çoğu Almanya sonra da İskandinav bölgesinde yer almaktadır. Bu nedenle soğuk iklimler ve ılıman iklimler için planlanan genel prensipler şu şekildedir:

1. Ayrı bir ısıtma sistemi ve klima olmadan konforlu bir iç mekan iklimi elde edilebilmesi: Pasif Ev Planlama Paketine (PHPP) göre yıllık ısıtma ihtiyacı maksimum 15 kWh / (m²a) olabilir. Aktif soğutmanın gerekli olduğu iklimlerde, soğutma enerjisi ihtiyacı, ek nem alma payı ile birlikte ısı talebi gereksinimleriyle yaklaşık olarak eşleşir.

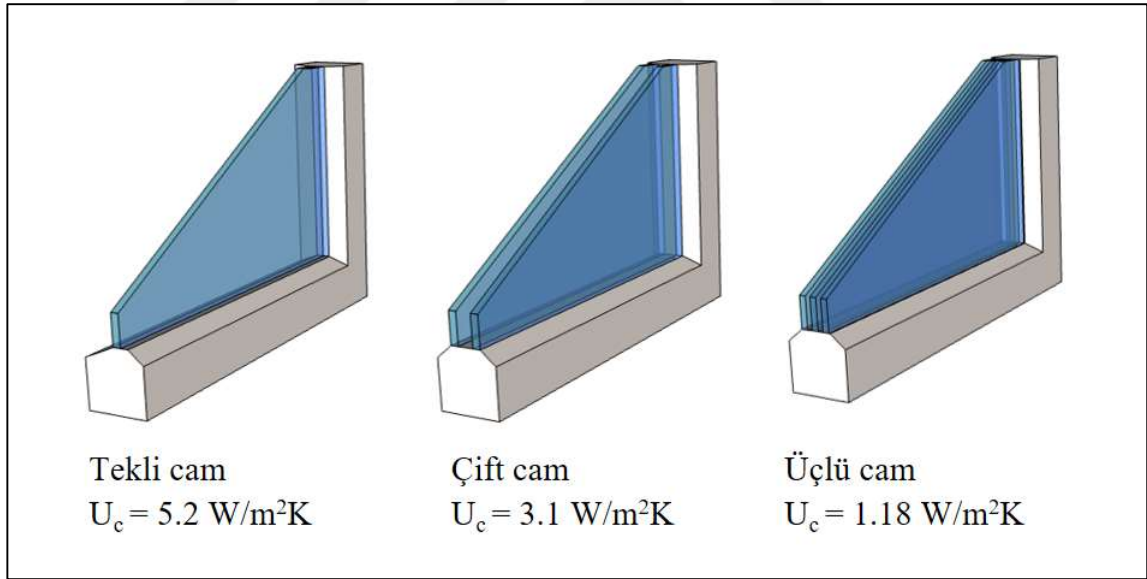
2. Hem kışın hem de yazın her yaşam alanında konfor kriterleri karşılanmalıdır. Bu genellikle aşağıdaki bileşen nitelikleriyle sonuçlanır:

- Dış bileşenlerin U değerleri 0,15 W / (m²K) altında olmalıdır (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Duvar ve yalıtım malzemesinin ısıl geçirgenlik değeri (Kawasaki ve Kawai 2006)

- Pencerelerin ve diğer yarı saydam bileşenlerin U değerleri $0,8 \text{ W / (m}^2\text{K)}$ altında olmalıdır (Şekil 2.5).



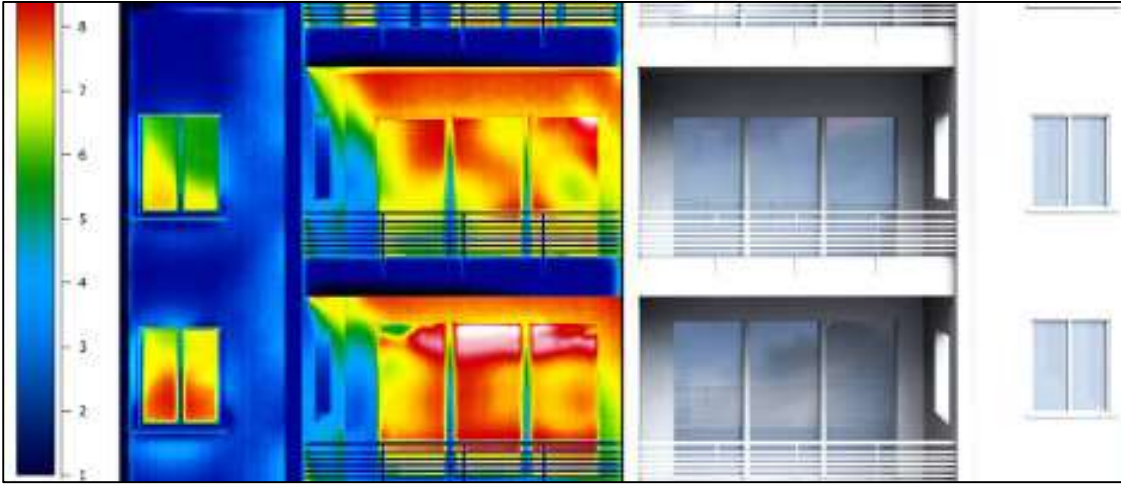
Şekil 2.5. Pencere ısıl geçirgenlik değeri (Harjunowibowo vd. 2019)

- Isıl konfor, yazın olduğu kadar kışın da tüm yaşam alanları için, belirli bir yıldaki saatlerin %10'unu geçmemek üzere 25 °C 'nin üzerinde karşılanmalıdır.

3. Tüm ev uygulamaları (ısıtma, sıcak su hazırlama ve elektrik) için yenilenebilir birincil enerji talebi birlikte $60 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}$ 'yı geçmemelidir. Hesaplama PHPP'ye dayanmaktadır.

Pasif evlerin inşası için aşağıdaki ilkeler geçerlidir:

- Isı yalıtımı: Dış kabuğunun tüm bileşenleri iyi yalıtılmalıdır, ısı geçirgenliği (U-değeri) maks. $0,15 \text{ W} / (\text{m}^2\text{K})$, yani sıcaklık farkı derecesi ve dış yüzeyin metrekare başına maksimum $0,15 \text{ watt}$ kaybedilir.
- Pasif ev pencereleri: Pencereler (pencere çerçeveleri dahil camlar) $0,80 \text{ W} / (\text{m}^2\text{K})$ U değerini geçmemelidir ve g değerleri yaklaşık % 50 (g değeri = toplam enerji geçirgenliği, oda için mevcut güneş enerjisinin oranı).
- Havalandırma: Isı geri kazanımı Oldukça etkili ısı geri kazanımına sahip konforlu havalandırma, öncelikle iyi iç hava kalitesi üretir - ikincisi, enerji tasarrufu sağlar. Pasif evde, egzoz havasından gelen ısıнын en az %75'i bir ısı eşanjörü aracılığıyla taze havaya geri verilir.
- Binanın hava sızdırmazlığı: 50 Pascal'da (hem basınçlı hem de basınçsız) bir basınç testi sırasında, boşluklardan kontrolsüz sızıntı saatte toplam ev hacminin 0,6'sından küçük olmalıdır.
- Termal köprü olamaması: Termal köprülerden kaçınmak için tüm kenarlar, köşeler, bağlantılar ve geçişler özel bir dikkatle planlanmalı ve uygulanmalıdır. Önlenemeyen termal köprüler mümkün olduğunca en aza indirilmelidir. Şekil 2.6'da görüldüğü gibi pencere ve kapı gibi alanlar ısıнын en çok kaçtığı alanlar olarak görülmektedir.



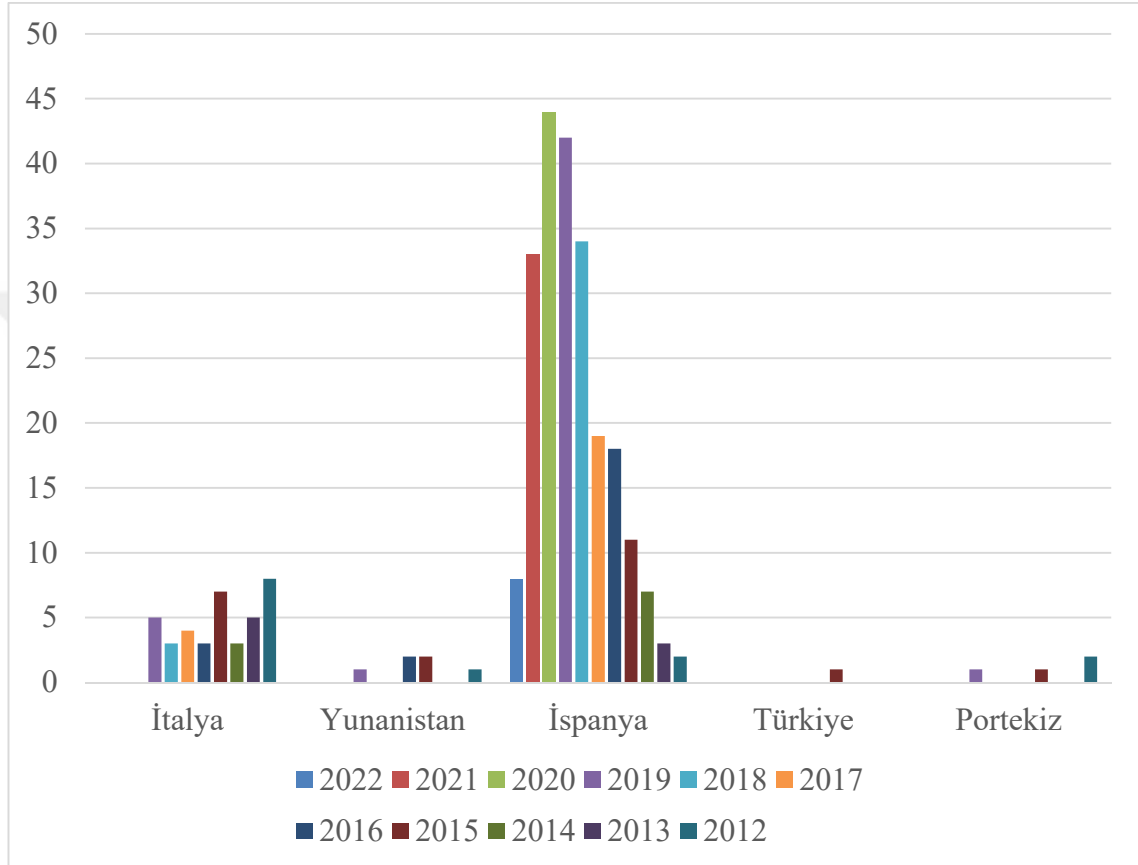
Şekil 2.6. Termal köprülerin bulunduğu alanlar (Anonymous 1)

- Yaz aylarında iç ortam sıcaklığının konfor kriteri: Bina içindeki sıcaklık EN 15251 standardında tanımlanan konfor aralığında kalmalıdır, aktif bir soğutma sistemi varsa sıcaklığı 26°C 'nin altında tutmak, sıcaklığın aşılmasına izin vermemek gerekir.

Akdeniz ülkelerinde sıcak iklimin hakim olduğu bölgelerde Pasif ev konseptinin uygulandığında enerji verimliliği sağladığı görüldükten sonra son yıllarda binalarda uygulamalar çoğalmıştır. Pasif Ev veri tabanından 2012-2022 arası alınan bilgilere göre, 10 yılda pasif ev konseptinin uygulandığı binaların Akdeniz iklimine sahip ülkelerle kendi aralarında karşılaştırıldığında en fazla İspanya'nın bu konseptte bina yaptığı görülmektedir (Anonymous 21). Çizelge 2.1'de grafikte gösterilen İtalya, Portekiz,

Yunanistan ve Türkiye dışındaki diğer Akdeniz ülkelerinin pasif ev konseptine sahip binası olmaması nedeniyle grafikte bulunmamaktadır. Son 10 yılda Türkiye’de toplam 2, İtalya’da 38, Yunanistan’da 6, İspanya’da 221 ve Portekiz’de 4 adet pasif ev konseptine sahip binaları bulunmaktadır. Çizelge 2.1’e göre 2015 yılından sonra pasif ev konsept binalar her sene artarak uygulanmaları devam etmektedir.

Çizelge 2.1. Son 10 yılda pasif ev bina yapımı yıllara göre dağılımı (Anonymous 21)



2012-2022 yılları arası uygulanan yapılar incelendiğinde kullanılan malzemeler ve yapı malzemelerindeki ortalama ısı geçirgenlik katsayıları (U değerleri) Çizelge 2.2’de gösterilmektedir. Pasif ev konseptinde yalıtım en önemli faktörlerden biridir. Pasif Ev veri tabanından edinilen bilgilere göre İtalya’da Pasif ev konsepti için kullanılan yalıtım malzemeleri EPS, XPS, Mineral yünü, taş yünü veya malzemeler arası hava boşluğu kullanılarak yalıtım sağlanmaktadır. Yunanistan’da ise kullanılan yalıtım malzemeleri EPS ve İtalya’dan farklı olarak cam yünüdür. Türkiye, Portekiz ve İspanya ise İtalya’da kullanıldığı gibi EPS, XPS, Mineral yünü ve hava boşluğu yalıtım için kullanılmaktadır.

Çizelge 2.2. Akdeniz iklimine sahip binalarda yapı elemanları özellikleri (Anonymous 21)

Ülke	Kullanılan yalıtım malzemesi	Tavan Isıl Geçirgenlik Katsayısı	Taban Isıl Geçirgenlik Katsayısı	Duvar Isıl Geçirgenlik Katsayısı	Pencere Isıl Geçirgenlik Katsayısı
İtalya	EPS Hava boşluğu XPS Mineral yün Taş yünü	0,115	0,124	0,137	0,582
Yunanistan	EPS Cam yünü	0,103	0,676	0,151	0,512
İspanya	EPS Hava boşluğu XPS Mineral yün	0,18	0,28	0,206	0,748
Türkiye	Mineral yün	0,151	0,14	0,12	0,685
Portekiz	EPS	0,224	0,373	0,27	0,788

Akdeniz ülkelerinde uygulanan pasif ev binalarının ısıl geçirgenlik ortalamalarına bakıldığında en yüksek ısıl geçirgenliğin Portekiz’de olduğu, en düşük ısıl geçirgenliğin yani ısının muhafazasını en iyi sağlayan yapıların İtalya’da uygulandığı sonucuna varılmıştır. Akdeniz ülkelerinin ısıtma yükü az olması ve soğutma yükünün etkisi fazla olması nedeniyle ısıl geçirgenlik katsayısının düşük olması ısıyı tuttuğu gibi soğuk havayı da tutarak enerji tüketimine neden olan klimaların daha az çalıştırılmasını sağlamaktadır.

Akdeniz iklimine sahip bölgelerde uygulanan binalarda küçük ölçekli yapıların uygulanması pasif ev konseptinin uygulanmasında iyi sonuçlar vermektedir ve büyük ölçekli yapılara da enerji verimliliği sağlaması açısından uygulanması gerekmektedir. Ancak büyük ölçekli yapıların soğuk ülkelerde uygulanmasıyla enerji verimliliğinin sağlanıp sağlanmadığı sadece soğuk ülkelerdeki sonuçlara göre değerlendirilmektedir. Büyük ölçekli yapılardan olan geniş açıklıkların bulunduğu spor salonları, kapalı yüzme havuzları gibi binalarda sağlanan malzeme seçimleri ve ek mekanik koşullar ile verimli sonuçlar alınmaktadır. Çizelge 2.3’de bulunan ülkelerin spor merkezleri ve kapalı havuzlarına ait toplam pasif ev veri tabanından alınan dünya genelinde bulunan 23 adet pasif ev spor salonları ve kapalı yüzme havuzları binaları bulunan tablosu yer almaktadır. Bu tabloya göre büyük ölçekli yapıların yapı elemanlarında kullanılan ısıl geçirgenlik katsayıları, yıllık ısıtma talebi, ısıtma ve soğutma yükleri ile hava sızdırmazlık ölçümü sonucu elde edilen verileri bulunmaktadır.

Çizelge 2.3. Uygulanan tüm pasif ev spor salonları ve kapalı yüzme havuzları binaları (Anonymous 21)

Ülke	Yıl	M2	Isıl geçirgenlik katsayısı W/(m2K)				Hava sızdırmazlık	Yıllık ısıtma talebi kWh/(m2a)	Yük W/m2	
			Duvar	Taban	Tavan	Cam			Isıtma	Soğutma
Fransa	2021	388	0,115	0,128	0,094	0,53	0.43/h	12	8	-
Çin	2020	3248	0,147	0,282	0,15	0,78	0.17/h	11	8	9
Hollanda	2019	1769	0,105	0,12	0,074	0,53	0.1/h	12	7	-
İsveç	2019	5590	0,13	0,167	0,096	0,64	0.3/h	29	17	-
Almanya	2018	899	0,105	0,099	0,089	0,53	0.3/h	15	12	-
Almanya	2018	689	0,083	0,094	0,71	0,43	0.3/h	14	20	-
İngiltere	2017	1040	0,099	0,19	0,076	0,5	0.9/h	18	19	15
Polonya	2014	1666	0,1	0,084	0,058	0,6	0.18/h	14	11	-
İsveç	2012	3589	0,095	0,125	0,068	0,5	0.13/h	11	-	-
Almanya	2012	1409	0,11	0,36	0,12	0,6	0.28/h	14	-	-
İngiltere	2011	665	0,119	0,266	0,115	0,6	0.6/h	7	11	-
Almanya	2011	2603	0,104	0,106	0,117	0,6	0.4/h	15	14	-
Polonya	2011	1638	0,1	0,14	0,09	0,6	0.12/h	15	13	-
Almanya	2011	344	0,125	0,13	0,132	0,5	0.56/h	15	16	-
Almanya	2011	1074 3	0,035	0,045	0,035	0,54	0.07/h	-	-	-
Almanya	2011	1422	0,125	0,2	0,1	-	0.1/h	13	9	-
Almanya	2010	1701	0,14	0,13	0,11	0,58	0.12/h	12	-	-
Kanada	2009	248	0,121	0,12	0,106	0,74	0.28/h	15	17	-
Almanya	2009	733	0,1	0,19	0,08	0,65	0.34/h	12	12	-
Almanya	2009	697	0,111	0,149	0,096	0,6	0.2/h	12	13	-
Almanya	2007	883	0,121	0,129	0,127	0,74	0.27/h	13	11	-
Almanya	2006	1389	0,129	0,12	0,08	0,6	0.23/h	12	11	-
Almanya	2003	1000	0,088	0,155	0,094	0,6	0.2/h	14	11	-

Almanya’da büyük ölçekli pasif ev 2011 yılında yapımı tamamlanan Lippe Bad Lünen kapalı havuzu ve aynı yıl yapılan ikinci kapalı havuz olan Bambados Kapalı Yüzme Havuzu, Pasif Ev konseptine sahip ilk kapalı havuz yapısı örnekleri olarak gösterilmektedir. Çizelge 2.4’e göre, pasif ev kapalı havuz yapılarında kullanılan yalıtım malzemeleri ve ısı iletkenlikleri gösterilmektedir.

Çizelge 2.4. Pasif Ev konseptine sahip iki kapalı havuzun malzeme özellikleri (Anonymous 5)

	Yalıtım malzemesi	Isı geçirgenliği (W/mK)	Yalıtım kalınlığı (mm)	U değeri (W/m ² K)
Lippe-Bad				
Çatı	EPS	0.035	300	0.11
Dış duvar	EPS	0.035	300	0.11
Zemin döşemesi	XPS	0.041	320	0.12
Bambados				
Çatı	EPS/ XPS	0.035	360	0.095
Dış duvar	Mineral wool	0.035	300	0.135
Zemin döşemesi	XPS	0.045	300	0.142

İlk “Pasif Ev” havuz örneğinde işletim maliyetinin büyük oranda düştüğü görüldüğünden, 2022 yılında İngiltere’de açılan St. Sidwell’s Point Leisure Eğlenme Merkezinin içerisinde yer alan kapalı yüzme havuzu Dünya’da üçüncü Pasif Ev konseptine sahip diğer örnek olmayı hedeflemektedir. 2020 yılında tüm dünyada yaşanan pandemi nedeniyle halkın kullanımına açılış tarihi ertelenen havuzların işletim masraflarının ölçümleri de henüz tamamlanmamıştır.

2.5 Dünya’da ve Türkiye’deki binalarda enerjinin etkin kullanılmasına yönelik mevzuatlar

Binalarda enerjinin etkin kullanılabilmesi için fiziksel çevreye ait verilere önem verilmesi, fosil yakıtlardan elde edilen enerji kaynaklarını azaltmak ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelecek mekanik sistemlerin yapıya eklenmesi gerekmektedir. Enerji etkin bina tasarımlarında çeşitli aktif ve pasif sistemler yapılarda bir arada kullanılmaktadır (Dikmen 2011). Yapı henüz tasarım aşamasındayken karar verilen pasif sistemlere, yapı tamamlandıktan sonra aktif sistemler eklenebilir veya tasarım aşamasındayken hem pasif hem de aktif sistemler entegre edilerek sağlıklı ve sürdürülebilir mekanlar yaratmak mümkün olmaktadır.

Dünya üzerinde enerjinin etkin kullanılabilmesi ve sağlıklı mekanlar için geçerli bazı yönetmelikler bulunmaktadır. Bunların amacı ürünlerin kalitesi, inşaatta enerji etkin kullanımı gibi uyumlu kurallarını ortaya koymaktır. Bina yönetmelikleri ve enerji yönetmeliklerinin uygulanması için dünya çapında farklı yaklaşımlar izlenmektedir. Bina yönetmelikleri, insanların güvenliği sağlamak, sağlığını düşünerek olumsuz koşulları uzaklaştırmak, bunların kurallarını oluşturmak ve belli kurallara bağlayarak enerji verimliliğini sağlamak, binaların tasarımı ve inşası için zorunlu standartlardır. Bunlar, bina yapımından kullanımına kadar enerjiyi etkin kullanıma yönelik düzenleme araçlarıdır. Birçok ülkede bu konu ile ilgili çeşitli yönetmelikler bulunmaktadır. İlk olarak Avrupa ve Kuzey Amerika’da 1970’lerde enerji verimli tasarımlar zorunlu hale

getirilirken, diğer birçok ülke 1990'lardan itibaren bu konuya odaklanılmıştır (Laustsen 2008). Enerji verimliliğinin sağlanabilmesi için bazı yeşil bina sertifikasyon sistemleri geliştirilmiş ve bu sertifika sistemleri farklı ülkelerde farklı konulara odak alarak isimleri değişiklik göstermiştir. Örneğin, DGNB, Greenstar, LEED, BREEAM gibi (Olanrewaju vd. 2022). Yapı malzemelerinin pazarlanmasına ilişkin tüm kuralları içeren “Yapı Malzemeleri Yönetmeliği” (CPR – Construction Products Regulation), Avrupa Birliği ülkelerince kullanılması zorunlu bir yönetmeliktir. Bu yönetmelik üretilen yapı malzemesi ile hedeflenen performans arasındaki uyumu garanti etmek amacıyla güvenilir bir bilgi kaynağı olarak düzenlenmektedir. ABD'de daha önce, Ulusal Sermaye Planlama Komisyonu (NCPC) ve Enerji Bakanlığı (DOE), bina düzenlemelerini ve enerji yasalarını ayrı ayrı ele aldı. Bununla birlikte, ABD'nin konut binaları için Uluslararası Kanun Konseyi'nin (ICC) standardına dayanmaktadır (Chandel vd. 2016). Avustralya ve Kanada'da hem bina yönetmelikleri hem de enerji yönetmelikleri ayrı ayrı düzenlenir. Kanada'nın yasalarında ve standartlarında çok sayıda enerji ile ilgili faktör düzenlenmemiş veya yetersiz bir şekilde ele alınmıştır. Pencerelerden güneş ısı kazanımı, dış gölgeleme, enerji geri kazanımlı hava filtrelemeli havalandırma ve hava sızdırma kontrolü (ve dolayısıyla iç hava kalitesi) sadece birkaç örnektir. Bina şekli, yönlendirme ve pencere-duvar oranı gibi planlama soruları bulunmaktadır (Anonymous 16). Çin ve Endonezya'da bina yönetmelikleri ve enerji yönetmelikleri, kapsamlı enerji yönetmelikleri oluşturmak için birlikte geliştirilmekte ve düzenlenmektedir. Tüm ülkeler içerisinde enerji politikalarının binalarda uygulanmasını en erken benimseyen ABD, İngiltere, Almanya, Fransa, Kanada, Çin, Güney Kore ve Japonya gibi enerji düzenlemeleri ülkeleri etkin uygulamada başarılı bulunurken, erken benimseyen diğer bir ülke olan İspanya'nın etkisiz düzenlemeleri vardır. Avrupa Yeşil Anlaşma ile Avrupa Birliği, 2050 yılına kadar iklim dengesini bozmayacak hedef koyarak nötr kıta olmayı hedeflemiştir. Bu nedenle Komisyon, diğer Avrupa Birliği enerji ve iklim kurallarıyla birlikte Enerji Verimliliği Yönergesini revize ederek, 2030 yılına kadar sera gazı salınımını en az %55 oranında azaltma hedefi koymuştur (Economidou vd. 2020). Yeni Zelanda, Avustralya, İtalya, Meksika, Rusya ve Güney Afrika gibi geç benimseyen ülkeler başarılı bir uygulama sergilerken, Brezilya ve Hindistan'da konut enerji düzenlemesi ya gönüllüdür ya da etkili değildir (Chandel vd. 2016).

Avrupa Birliği'nin binaların enerji performansının arttırılmasına yönelik teşviklemeyi amaçlayan ve binalara asgari standart getirilmesini sağlayan Binaların Enerji Performansı Direktifi ana yönetmelikleridir. Günümüze kadar üç kez değişikliğe giden direktifin detayları şu şekildedir;

2002/91/EC Direktifi: 04 Ocak 2003 tarihinde yürürlüğe giren Binaların Enerji Performansı Direktifi AB üyelerinin üç yıl içinde direktife uyma zorunluluğu getirildi (Anonymous 11). Direktif;

- Üye Devletlerin bina yönetmeliklerini güçlendirmesi
- Binaların enerji performans sertifikasını getirmesini
- Üye devletlerin Enerji Kimlik Belgeleri almaları,
- Kazanların muayenesi yaptırmaları
- Klima sistemlerinin muayenesi yaptırmaları hükümlerine uymalarını şart koştur.

2010/31/EU Direktifi: 18 Haziran 2010 tarihinde yürürlüğe giren “Binaların

Enerji Performansı Direktifi yeniden düzenlenmesi” başlığı adı altında değiştirilmiştir. Bu hali ile neredeyse sıfır binalara, en az enerji performansı gereksinime ve maliyetin optimal seviyelerde tutulmasına karar verilmiştir (Anonymous 11). Yeniden yapılanmada;

- Satılık veya kiralık binalar için ilanlarda enerji kimlik belgelerinin belirtilmesi.
- Üye Devletlerin, ısıtma ve iklimlendirme sistemleri için denetim şemaları oluşturması veya eşdeğer etkiye sahip önlemleri alması
- 31 Aralık 2020'ye kadar tüm yeni binalar neredeyse sıfır enerjili binalar olması; aynı durum 31 Aralık 2018 tarihinden sonra tüm yeni kamu binaları için de geçerli olması
- Üye Devletlerin, yeni binalar, büyük yenilemeye tabi binalar ve ayrıca yapı elemanlarının değiştirilmesi veya güçlendirilmesi için minimum enerji performans gereklilikleri belirlemesi.
- Üye Devletlerin, binaların enerji verimliliğini artırmak için ulusal mali önlem ve araçların listelerini hazırlamaları şart koşulmuştur.

2018/884/EU Direktifi: Mayıs 2018'den 2030 yılına kadar CO2 emisyonlarını en az %40 oranında azaltma, ekonomiyi modernize etme ve enerji yaratma taahhüdüne uygun olarak temiz enerji geçişini hızlandıran bir önlem paketi olan "Tüm Avrupalılar İçin Temiz Enerji" yayınlanmıştır. Yeni direktifte önceki direktif revize edilerek enerji verimliliğini ilk sıraya koyar ve uygun maliyetli bina yenilemeyi desteklemektedir (Anonymous 11).

- Uzun vadeli bina yenileme stratejilerinin dahil edilmesi ve 2050 yılına kadar binaların karbondan arındırılması
- Binaların verimli çalışmasını sağlamak için bilgi iletişim ve akıllı teknolojilerin kullanımının teşvik edilmesi
- Beklenen sonuçların teslimatta başarısız olması durumunda kolaylaştırılmış hükümler
- Fiziksel denetimlere alternatif olarak bina otomasyonu ve kontrol sistemlerinin tanıtılması
- E-mobilite için gerekli altyapının kullanıma sunulmasını teşvik edilmesi
- Bina yenileme için kamu finansmanı ile enerji performans sertifikaları arasındaki bağlantıları güçlendirilmesi
- Bina yenileme yoluyla enerji yoksulluğuyla mücadeleyi teşvik etmesidir.

Binaların Enerji Performansı Direktifi için önerilen revizyon (2021): 2021 yılında, Estonyalı Komisyon Üyesi Kadri Simpson liderliğindeki Avrupa Komisyonu, yeni bir revizyonunu önerdi. Yeni revizyona göre;

- Tüm üye devletlerin Ulusal bina yenileme planları oluşturma zorunluluğu
- En kötü enerji performansına sahip (konut dışı) binaların 2030 yılına kadar en az F sınıfına ve 2033 yılına kadar E sınıfına ulaşmasını gerektiren Minimum Enerji Performans Standartlarının (MEPS) oluşturulması.

Ek olarak Ukrayna'da başlayan savaş ile birlikte enerji konusunda sıkıntı yaşayacak olan Avrupa komisyonda tüm yeni binalarda güneş enerjisine hazır olacak şekilde tasarlama ve tesisat alanını ayarlama zorunluluğu getirilmiştir. Güncel oluşturulan

yeni önerilerle birlikte Aralık 2022 tarihine kadar onaylanması beklenmektedir.

Öte yandan Türk inşaat sektöründe, “Yapı Malzemeleri Yönetmeliği, Binalarda Isı Yönetmeliği, Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği ve Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) Yönetmeliği” uygulama esasları baz alınmaktadır. Bu yönetmelikler, yapım ve kullanım süreci açısından enerji etkin binaların elde edilmesini sağlamak ve binalarda kullanılan ürünlerin kalitesini belirlemek adına kuralları içermektedir.

2.5.1 Binalarda ısı yalıtım yönetmeliği

Resmi gazetede 9 Ekim 2008 tarihinde yayınlanan “Binalarda Isı Yalıtım Yönetmeliği” enerji tasarrufu sağlamak amacıyla binalarda ısı kayıplarının azaltılmasına yönelik uygulamaların usul ve esaslarını içermektedir. TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standartlarına uygun şekilde belirtilen U değerlerine uygun hesaplamalar yapılmaktadır. İklim değerlerine göre bölgelere ayrılan hesaplamalarda yıllık ısıtma enerjisi sınır değerlerini yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacına göre hesaplanmasını içermektedir (Resmi Gazete 2008). Bu yönetmelikte genel esaslar;

- *Isı bölgeleri:* İklim şartlarına göre ayrılan bölgelere göre tavsiye edilen U değerlerinin belirtilmesi
- *Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı:* Isı kayıplarını azaltmak amacıyla çevre koşullarına ve kullanıcı ihtiyaçlarına uygun olarak yalıtılması
- *İç mekan sıcaklık değerleri:* Farklı işlevlere sahip binalarda (konut, otel, müze, hastane, yüzme havuzu vs.) TS 825 hesaplamalarında kullanılacak ortalama iç mekan sıcaklık değerinin yönetmelikteki değerine göre kullanılması. Örneğin; konutlar için iç mekan sıcaklığı 19 °C, oteller ve müzeler için, 20 °C, hastaneler için 22 °C ve yüzme havuzları için 26 °C’dir.
- *Isı geçirgenlik katsayıları:* Yeni binaların ısı yalıtım hesabı kapsamında, ısıtılan hacimleri ayıran duvar, döşeme ve/veya taban ile tavan ve/veya çatılar için esas alınacak U değerlerinin tavsiye edilen değerlerden büyük olmaması
- *Proje zorunluluğu:* Yönetmelik hükümlerine göre TS 825 Standartında belirtilmiş olan hesaplama yöntemlerine göre, yetkili kişiler tarafından mimari projelerde sistem detayları göz önünde bulundurularak ısı yalıtım projesi hazırlanması.

TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı 14 Haziran 1999 tarihinde resmi gazetede yayınlanmıştır. Günümüze kadar güncellemeleri olan bu standarta göre;

- Türkiye’de binalar kapsamında ısıtma yükü olarak kullanılan enerji miktarına sınır koyularak enerjide tasarruf sağlamak
- Enerji ihtiyacının hesaplanması için standart hesap metodu kullanılması ve değerlerin belirlenmesi
- Binalarda enerji tasarrufunun sağlanması ile birlikte iç mekanda konfor koşullarının yüksek olduğu binaların üretilmesini sağlamak amaçlanmıştır.

TS 825’e göre binaların ısıtma enerjisi ihtiyacını etkileyen faktörlere göre:

- *Bina özellikleri:* Binayı oluşturan malzemelerin bir araya gelmesiyle cepheye vuran güneşlenme miktarına bağlı olarak iletim, taşınım, ışıınım ve

havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kayıpları (varsa ısı geri kazanımı) ve ısı kapasite,

- *Isıtma sisteminin özellikleri:* Otomatik sistemlerin, bir gün içerisinde farklı saatlerde ısıtma enerjisinin değişimine bağlı enerji ihtiyacı talebine cevap verme süresi,
- *İç iklim koşulları:* İç mekan konfor değerinin ideal olabilmesi ve bununla ilgili gün içi değişimlerin yapı kapsamında kontrolü,
- *Dış iklim koşulları:* Dış hava koşulları ve hava sıcaklığı, cephelerin güneşlenme süresi, hakim rüzgar yönü ve şiddeti gibi iklim verileri ile ilgili durumlar,
- *İç ortam ısı kazanç kaynakları:* Isıtma sisteminden elde edilen ısı kazancının dışında ısıtmaya katkısı olan iç ısı kaynakları,
- *Güneş enerjisi:* Pencerenin olduğu alanlar gibi cephede bulunan açıklıklardan mekana doğrudan gelen güneş ışınlarının oluşturduğu ısıtma sayesinde oluşan enerji miktarıdır (TSE 825 2013).

2.5.2 Binalarda enerji performansı yönetmeliği

Binalarda Enerji Performansı yönetmeliğinin 5 Aralık 2008 tarihinde resmi gazetede yayınlanmasının ardından 19 Şubat 2022 tarihinde yeniden düzenlenerek yürürlüğü girmiştir. Revize edilen yeni yönetmeliğin amacı dış iklim şartlarını, iç mekan gereksinimlerini, mahalli şartları ve maliyet etkinliğini de göz önünde bulundurarak, bir yapıdaki tüm enerji kullanımlarının değerlendirilmesini sağlayacak hesaplama kurallarının belirlenmesidir. Ayrıca bu yönetmelik hükümleri gereği binalarda birincil enerji kullanımına yönelik ve karbondioksit (CO₂) ile sera gazı emisyonu yayma özelliklerine göre sınıflandırılmaları veya sınırlandırmaların belirlenmesi, mevcut binalarda yapılacak tadilatlarda enerji performansı sağlayabilecek öğelerin belirlenmesi, yenilenebilir enerji kaynaklarının yapıda kullanılabilmesi için uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi, ısıtma ve soğutma sistemlerinin kontrolünü, binalarda performans kriterlerinin ve uygulama esaslarının belirlenmesini ve çevrenin korunmasını düzenlemektedir (Resmi gazete 2008).

Mimari tasarımda dikkat edilmesi gereken kriterler şu şekildedir;

a) Binaların iklim koşullarına göre yönlendirilmesi ve iç mekan tasarımlarında güneş, rüzgar, yağmur gibi hava olayları dikkate alınarak tasarlanmış mimari çözümleri ile istenmeyen ısı kazançların veya ısı kayıplarının engellenmesi

b) Bina içerisinde sürekli kullanılacak yaşam alanları, güneş ısı ve ışığı ile doğal havalandırmadan optimum derecede faydalanacak şekilde yerleştirilmesi,

c) Mimari uygulama projesi ve sistem detayları, ısı yalıtım projesindeki malzemeler ve nokta detayları ile bütünlük sağlamalı, ısı yalıtımında sürekliliği sağlayacak şekilde, çatı-duvar, duvar-pencere, duvar-taban ve taban-döşeme-duvar bileşim detaylarının hava sızdırma olması,

ç) Binanın yapılacağı yerin yenilenebilir enerji kaynak kullanım imkanlarının araştırılması ile oluşturulacak raporlar doğrultusunda alternatif mimari çözümler değerlendirilmesidir (Resmi Gazete 2008).

2.5.3 Çevresel etki değerlendirmesi (ÇED) yönetmeliği

Bu yönetmelik ile Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) sürecinde uyulacak idari ve teknik usul ve esaslarının düzenlenmesi amaçlanmıştır (ÇED Yönetmeliği 2014). Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED), uygulanacak projelerde çevre ile ilişkisi analiz edilerek çevreye verdiği olumlu veya olumsuz etkilerin belirlenmesi için yapılan çalışmalardır. Çevre üzerinde olumsuz yönde bir etki varsa o etkiyi azaltmaya veya önlemeye yönelik tedbirler alınması ve projelerin uygulandıktan sonra da izlenmeye devam etmesi ve kontrollerin devam etmesi de bu çalışmalara dahildir. 11 Ağustos 1983 tarihinde Resmi Gazete’de yayınlanan ve yürürlüğe giren 2872 Sayılı Çevre Kanunun 10. Maddesine göre, gerçekleştirmeyi planladıkları faaliyetleri sonucu çevre sorunlarına yol açabilecek kurum, kuruluş ve işletmeler bir “Çevresel Etki Değerlendirme Raporu” hazırlarlar. Bu raporda çevreye yapılabilecek tüm etkiler göz önünde bulundurularak çevre kirlenmesine sebep olabilecek atık ve artıkların ne şekilde zararsız hale getirilebileceği ve bu hususta alınacak önlemler belirtilir (Alıca 2011).

2.5.4 Yapı malzemeleri yönetmeliği

Yapı malzemeleri yönetmeliği ilk olarak 1 Temmuz 2013 tarihinde yürürlüğe giren ve resmi gazetede yayınlanan yönetmeliğin amacı, yapı malzemelerinin temel karakteristikleri ile ilgili performans beyanlarının ve malzemelere CE işaretinin iliştilmesinin kurallarını oluşturarak yapı malzemelerinin piyasaya arz edilmesi ve piyasada bulundurulması ile ilgili usul ve esasları belirlemektir (Resmi Gazete 2013).

Malzeme yönetmeliğinde geçen temel gereklilikler (İMSAD 2015);

- Mekanik dayanıma sahip olması ve stabilitesi
- Yangın olması durumunda emniyetliliği
- Hijyen, sağlık ve çevre
- Kullanımı erişilebilir ve güvenli olması
- Gürültüye karşı koruma
- Enerji tasarrufu sağlaması ve ısı muhafazası
- Doğal kaynakların sürdürülebilir olarak kullanımıdır.

2.6 Kapalı Havuz Yapılarında Tasarım ve Planlama

Roma Dönemi’nde yüzme havuzları, sıcak banyolar, buhar banyoları ve hamam içeren tesisler ilk defa tasarlanmıştır. Roma İmparatorluğu'nun çöküşüyle birlikte özellikle Hindistan, Türkiye, Japonya ve Sri Lanka gibi bazı doğu ülkelerinde bina içinde su öğelerinin bulunduğu işlevleri Romalılardan sonra kullanmaya devam etmişlerdir. Doğru ülkelerinde bu tesislerin kullanımının devam etmesine rağmen batı ülkelerinde bu tür tesislerin kullanımlarının ve yenilerinin inşa edilmesi ile azalmıştır (Gabrielsen 1972). İlk kapalı yüzme havuzu 1862 yılında İngiltere’de inşa edilmiştir (Anonim 5). İlk kapalı havuzun açılmasıyla birlikte 19. Yüzyıldan itibaren İngiltere’de yeniden ilgi çeken yüzme havuzları Avrupa’da yeniden yayılmasına öncülük etmiştir. Başka bir kıtada bulunan Amerika Birleşik Devletleri’nde ise Massachusetts eyaletinde 1887’de ilk halka açık yüzme havuzu bulunurken, yaklaşık 30 yıl içinde bine yakın yüzme havuzu Amerika

Birleşik Devletleri'nde faaliyete geçmiştir (Gabrielsen 1972). Yüzme havuzları belediyelerin halka sunduğu alanlarda ve okul gibi yapılarda yayılmaya başlamıştır. 1930'ların başında, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki liselerin %42'sinde yüzme havuzu bulunmaktaydı (Olsen 2007; Jones 1930). Bir diğer kıtada bulunan Avustralya ise, 1930'lardan itibaren halka açık yüzme havuzları ilgi görmeye başlamıştır (Lewi 2019). Avrupa'da ise yüzme havuzları 1960'lı yıllarda antrenman ve yarışma amaçlı sportif ihtiyaçları karşılamak için yapılırken, 1970'lerde eğlence amaçlı yüzme havuzları yapılmaya başlanmış ve bu konsept son on yılda tüm Avrupa'ya yayılmıştır. 1989 yılına kadar Avrupa'da çoğu Almanya ve Büyük Britanya'da bulunan yaklaşık 230 tane kapalı havuz yapısı bulunmaktaydı (Faché 1989).



Şekil 2.7. Colgate Hoyt Pool, 1903 (Anonymous 20)

Kapalı havuzlar farklı ölçülere sahip olabileceği gibi olimpik ve yarı olimpik olmak üzere belli ölçülere sahip kapalı havuzlar da bulunmaktadır. Kapalı havuz yapılarında en önemli kriter termal konfordur. Bu nedenle, kullanıcılar için termal olarak rahat ve sağlıklı bir iç ortam sağlamak ve bina çevre yapısını korumak gereklidir (Limane vd. 2018; Sun vd. 2011). İç mekanda spor yapan veya hareket halinde bulunan insanların nemden etkilenmesi ile kendilerini yorgun hissetmeleri karşısında iç mekamlarda yeteri kadar verimli zaman geçirilememektedir. İç mekan alanlarında yapılan sporlar için iç mekan kalitesinin en önemli faktörlerden olduğu yapılan bazı çalışmalarda kanıtlanmıştır (Fantozzi ve Lamberti 2019; Andrade ve Dominski 2018).

Kapalı havuzlarda olimpik ve yarı olimpik olmaları durumlarında değişen bazı özellikler bulunmaktadır. Bu tür havuzların standartları Uluslararası Yüzme Federasyonu (The Federation Internationale de Natation / FINA) tarafından belirlenir (Anonim 2).

Tam olimpik yüzme havuzu özellikleri;

- Standartları Uluslararası Yüzme Federasyonu tarafından belirlenir.
- Tam olimpik havuzlar 50x25x2 m ölçülerindedir.
- Havuz yüzey alanı 1250 m²'dir.
- Havuz sıcaklığı 25-27 derece arasında olmalıdır.
- Toplam 10 kulvardan oluşur.

Yarı olimpik yüzme havuzu özellikleri;

- Yarı olimpik yüzme havuzu ölçüleri 25x12,5x2 m' dir.
- Havuz yüzey alanı 312,5m²'dir.
- Havuz sıcaklığı 25-27 derece arasında olmalıdır.
- Toplam 5 kulvardan oluşur.

Türkiye'de ise İl Sağlık Müdürlüğü tarafından kontrol edilen ve Yüzme Havuzlarının Tabi Olacağı Sağlık Esasları ve Şartları Hakkında Yönetmelik gereği havuz suyu sıcaklığı en az 26 ve en fazla 28 dereceye sahip olması gerektiği ve ortam sıcaklığı ile su sıcaklığı arasında farkın az olması gerektiği belirtilmiştir. Çocuk havuzlarında ise su sıcaklığının 26-32 °C arasında olması Sağlık Bakanlığı tarafından 2010 yılında yayınlanmıştır (Anonim 3).

Katsaprakakis (2015) göre, 2008'den bu yana Güney Avrupa'da yaşanan ekonomik krizle birleşince Güney Avrupa'da birçok Belediye veya Ulusal yüzme havuzunun kapanmasına neden oldu. Yüzme havuzlarının yeniden açılmasını sağlamak için ısıtma maliyetlerinin düşürülmesine yönelik sert önlemler alınması gerekti ve yenilenebilir enerji sistemlerinin kullanımları başlamış oldu (Katsaprakakis 2015).

Yüzme havuzlarında suyun ısıtılması ve su sıcaklığının sabit tutulması iç hava sıcaklığı kadar önemlidir. Suyun buharlaşmaması, suyun sıcaklığının belli seviyede tutulması veya tekrar suyun ısıtılması kapalı havuzların işletim masraflarını arttırmaktadır. Suyun tekrar ısıtılma masraflarının önüne geçilmesi için 1960'larda çözüm aranmaya başlanmıştır. İlk olarak su yüzeyine plastik örtü koyularak buharlaşmanın önüne geçilmesi hedeflenmiştir.



Şekil 2.8. Su yüzeyine plastik örtü koyulma örneği (Anonymous 19)

Bu çözüm 1980’lerde de devam ettiği bazı makalelerde belirtilmiştir. 1970 – 1980 yıllarında güneş kolektörlerinin yapılarda kullanılmasıyla suyun ısıtılmasından ve havuz yapılarında ideal sıcaklığa ulaşma konusunda Akdeniz bölgelerinde ve Hindistan’da uygulanmasıyla başarılı sonuç elde edilmiştir. Bu nedenle Avrupa’da kapalı havuzlarda uygulanmaya başlanmış ve özellikle güney cephe bölgelerinde güneş kolektörleri kapalı havuz yapılarında uygulanmıştır. 1990 ve 2000’li yıllarda da güneş panellerinin de etkisiyle kapalı havuz yapılarında hem aktif hem de pasif sistemlerin kullanılmaya başladığı incelenmiştir (Katsaprakakis 2015). Bu yapılarda güneşe göre yönlendirilmesi binanın çevresinin ve konumunun önemi artmıştır.

2.6.1 Kapalı havuzların pasif ev modeli ile tasarlanması için parametreler

Kapalı havuz mekanları geniş alan kaplayan yapılardır. Bu yapıları diğer binalardan ayıran özellik ise nem miktarıdır. Özellikle konut, ofis, spor salonu gibi küçük alanlarda enerji verimliliği çalışmaları yapılması büyük enerji verimliliğine yardımcı olurken büyük yapılar olan hastane, otel, kapalı havuzlar gibi alanlarda da enerji verimliliğinin artırılması büyük miktarda enerji verimliliği sağlamada yardımcı olabilecek şekilde ortam koşullarını iyileştirmek gerekmektedir. Enerji verimliliği yapıların işletimi sırasında elde edilecek kar miktarını etkilerken, yapım sırasında harcanan maliyet miktarının fazla olması yatırımcının bu konuda vazgeçmesine neden olabilmektedir. Tüm kurum ve kuruluşların bu konuda kar edebileceği ve ekolojik çevreye

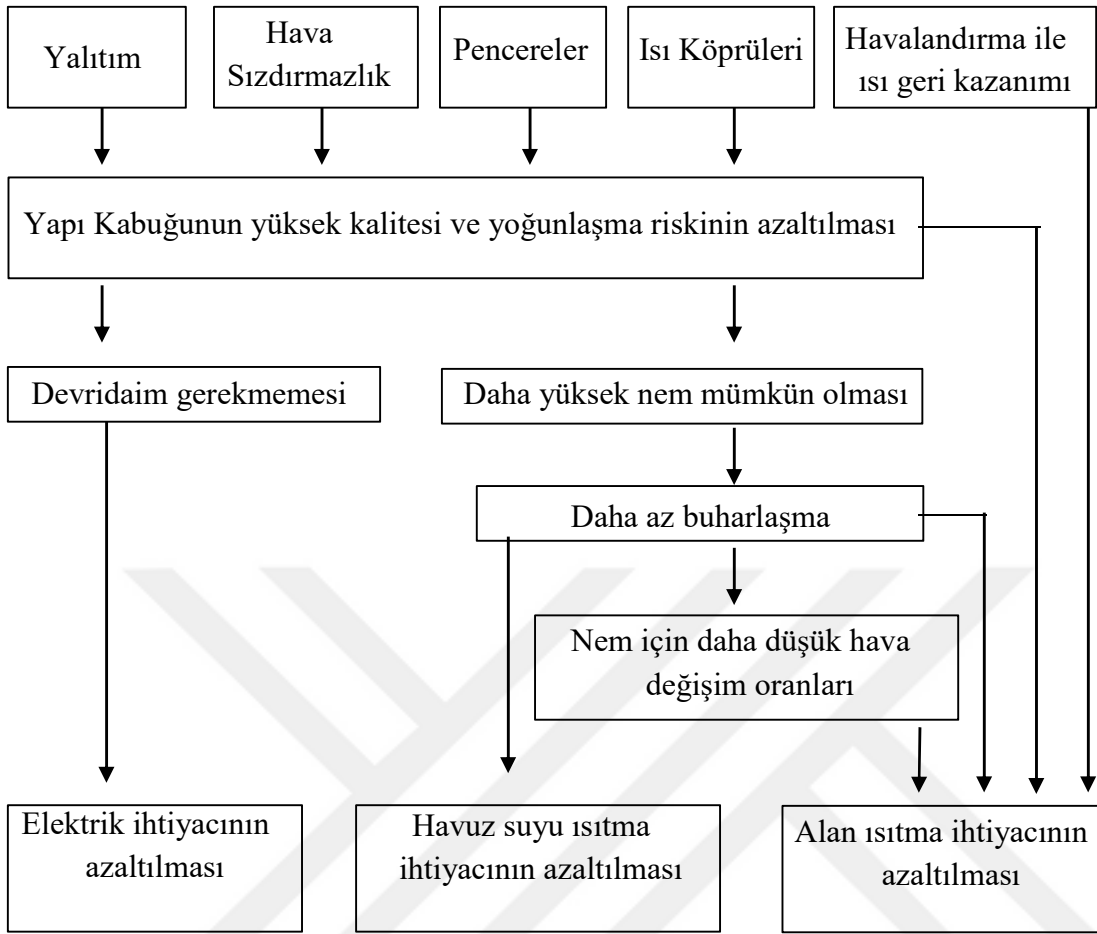
zarar vermeyen yapı oluşturma bilincinde olmasına rağmen inşaatın bitiminden sonrası için değil öncesi için tasarlanan yapının maliyeti için tasarruf planı beklenmektedir. Bu da günümüzde özellikle yaz dönemlerinde kullanılmayan kapalı havuz yapılarının ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Özellikle Akdeniz bölgesi için fazla sıcaklıklara maruz kalmasından dolayı kapalı havuzlardaki kullanımın yetersiz havalandırma ve sıcaklık miktarının sabit tutulmaması gibi nedenlere yol açmaktadır. Özellikle kapalı havuz yapılarında olimpik ve yarı olimpik havuzlar sporcuların çalışma performansını etkilemesinde neden olan nem ve sıcaklık dengesinin kurulması önemli bir parametre olarak karşımıza çıkmaktadır.

Binanın az enerji tüketebilmesinin en önemli etkileri olarak binanın şekli, binanın yönü ve binayı çevreleyen kabuğun yapısı olduğu Wang ve arkadaşları (2006) tarafından dikkat çekilmiştir. Bu nedenle bina kabuğunu çevreleyen yapı elemanlarında kullanılan yalıtım malzemelerinin, ısı geçirgenlik değerlerinin, pencere gibi saydam alanlarda güneş geçirgenliğinin ve gölgelendirme unsurlarının bir arada düşünülerek enerji tasarrufu sağlamanın en önemli faktörleri olarak literatüre geçmiştir. Singhaputtangkul'un (2011) araştırmalarına göre farklı pencere-duvar oranları (Window-Wall Ratio / WWR) ve malzeme türleri seçerek bina kabuğu tasarımının optimize edilmesinin, bir binanın enerji tüketimini azaltmada önemli bir paya sahip olabileceği öne sürülmektedir (Singhaputtangkul 2011).

Pasif ev konsepti, yapının genel enerji tüketimini verimli bir şekilde kullanımını sağlayan yaklaşımdır. Genel olarak bakıldığında pasif ev konseptinin kapalı havuz yapılarında kullanıldığındaki avantajları;

- Enerji ihtiyacından doğan soğutma ve ısıtma yüklerinde fiyat artışı yaşanması ile dışarıdan alınan enerji talebinde bağımlılık az olması nedeniyle bütçede maliyetin planlama yapılarak fazla masrafın engellenmesi,
- Yapı malzemelerinde kullanılan ürünlerin kalitesi, hava sızdırmazlığı, dayanıklılığı, ısı geçirgenlik değerlerinin mekanda enerji verimini ve malzemelerin hasar almadan korunmasının sağlanması,
- İç mekanda kullanılan malzemelerle termal konforun sağlanması, konforun sağlanmaya devam etmesidir.

Kapalı yüzme havuzlarının yüksek enerji tüketimi nedeniyle, enerji verimliliğindeki artış özellikle güçlü bir etkiye sahiptir (Anonymous 12). Kapalı havuzlarda tasarım sürecinde bazı parametrelerin değişken veya sabit tutulması gereken değerleri bulunmaktadır. Bunlar iç mekanın konforu ve termal ısısını değiştirecek özelliklerdir. Temel ilişkilerin olduğu diyagram Şekil 2.9'da gösterilmektedir.



Şekil 2.9. Pasif Ev konsepti ile enerji verimliliği ilişki şeması (Anonymous 5)

Kapalı havuzların hangi bölgede kullanıma sunulacağı önemlidir. İklima bağlı olarak ısıtma veya soğutma yükünün fazla olması durumunda iklime göre tasarım yapmak enerji verimliliği sağlamanın en önemli faktörüdür. Pasif evlerin soğuk bölgelerde uygulanması ile ısıtma yükünün azaltılması hedeflenmekteyken, pasif evlerin Akdeniz bölgesi gibi sıcak iklime sahip bölgelerde uygulanması soğutma yükünün artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle genel olarak kapalı havuz yapıları bazı enerji yüklerine sahiptir. Özellikle ihtiyaç olan bu alanlar;

- Suyu ısıtmak için kullanılan ısıtma enerjisi
- Aydınlatma için kullanılan elektrik ihtiyacı
- Ek havalandırma sistemleri için gerekli enerji ihtiyacı
- Havuz suyu temizlemek için enerji ihtiyacı
- Mekanı ısıtmak veya soğutmak için harcanan enerji ihtiyacı

Pasif Ev ilkelerinin kapalı yüzme havuzlarında kapsamlı şekilde uygulanması, en az enerji ihtiyacı ve karşılığında düşük işletme maliyeti sağlaması ile mekanda kullanıcıya yüksek konfor sağlanması ve iç hava kalitesinin kullanıcıyı memnun etmesini sağlamaktadır.

2.6.1.1 Yalıtım ve ısı köprüsü

Üretilen toplam enerjinin büyük bir kısmının binalar için sağlanmakta toplam enerjinin %30'u ısıtma, havalandırma veya iklimlendirme (HVAC) gibi çeşitli şekillerde binalarda harcanmaktadır (Alasha'ary vd. 2009). Bu nedenle yapı içerisinde mekanları ısıtma ve soğutma bu kullanımın büyük bir kısmını oluşturmakta ve dolayısıyla binalarda enerji verimliliği çok önemli bir konu haline gelmiştir. Binalarda enerji verimliliğini sağlamanın en iyi yolu yalıtımlı malzemeler kullanarak yapı elemanlarının ısı kontrolü sağlamasıdır. Bina yalıtımı ya da bina izolasyonu, yapı elemanında (çatı, duvar, döşeme vb.) yalıtım malzemesi kullanılarak, iç mekandaki enerjinin dışarı veya dışarıdan gelecek enerjinin iç mekana olan akışının indirgenmesidir (Anonim 6). Yalıtım malzemesi binalarda eksik olduğu sürece yapıda harcanan enerji miktarı ısıtma veya soğutma yükü bakımından artmaktadır. İçeride tutulamayan fazla ısı dışarıya, dışarıdan istenilmeyen fazla ısı içeriye akış halini sürdürmeye devam etmektedir. Bu durumu önlemek için ısı yalıtımlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Yalıtımlar duvarlarda kullanılabileceği gibi çatılar ve temel döşemelerinde de kullanılmaktadır. Özellikle çatı gibi dış hava koşullarına maruz kalan yapı elemanlarında yalıtım malzemesi konulması veya var olan yalıtımın kalınlığının artırılması iç mekanda ısı konfor açısından büyük fark yaratmaktadır. Lei'ye (2010) göre, çatıdan ısı kaybının bir sonucu olarak enerji kullanımı, çok katlı yapıların toplam enerji kullanımının yaklaşık %8-10'undan sorumludur (Wilberforce 2023; Lei 2010). Wilberforce'a (2023) göre, çatılarda çatı tipi, renk, kalınlık ve yalıtım iç mekanın ısı verimini değiştirmektedir (Wilberforce vd. 2023).

Yalıtım malzemeleri ile ilgili yapay zeka çalışmalarında ANFIS modeli uygulanarak iç mekandaki ısıtma ve soğutma enerji ihtiyaçları bulunabilmektedir. 2009 yılında Alasha'ary arkadaşlarının, gerçek ölçüm değerleri için yapılan binalar ile ANFIS yapay zeka yöntemi ile model oluşturularak karşılaştırmalı deney yapmışlardır. Deneysel iklim verilerini kullanarak Avustralya konut binalarında kullanılan dört farklı duvar yapısının dört test modülü oluşturulmuştur. Oda sıcaklığını tahmin edilebilmesi için ANFIS Sugeno tipi model olarak adlandırılan Neuro-Fuzzy tahmin yaklaşımını kullanarak deney sonuçları karşılaştırılmıştır. ANFIS Sugeno-tipi modelleme yaklaşımının, verilen girdi-çıkı modellerinin tatmin edici bir doğruluk seviyesi ile elde edilebildiği güçlü ve güvenilir bir tahmin aracı sunduğu gösterilmiştir (Alasha'ary vd. 2009). 2011 yılında yapılmış bir çalışma örneğinde binanın formu, cephedeki şeffaflık oranı, yalıtım malzemesinin kalınlığı ve binanın yönelimi ile girdi parametreleri oluşturulmuş, ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyaçlarına yönelik çıkı modeli oluşturulmuştur (Ekici ve Aksoy 2011).

Kalınlıklarının değişimlerine göre farklı ısı geçirgenlik değerlerine sahip olabilen yalıtım malzemelerinin kullanımlarına göre istenilmeyen ısı köprülerinin oluşumlarını da engellemektedir. Yapıların özellikle çatı, ve duvar gibi dış ortama bağlı sıcaklık değişimlerinde istenilmeyen ısı geçişlerini yalıtım malzemeleri sayesinde ideal oranlara çekilebilmektedir. Yalıtım malzemelerinin yangına dayanımı, ses yalıtımını sağlaması, sağlık açısından gibi nedenlerden kendi aralarında tercih sebebi yapının kullanım işlevine bağlı olarak değişebilir.

- Yangına dayanım açısından; camyünü, tasyünü, perlit, vermikülit, camköpüğü, özel boyalar vb. tercih edilmesi
- Havuz yapıları için sızıntı ve çatlakların oluşumunun engellenmesi açısından;

elastomerik akrilik kaplama tabakası, çatı ve duvar için XPS yalıtım malzemesi, taş yünü tercih edilmesi

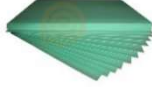
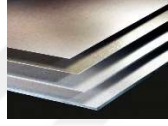
- Sağlık açısından; taş yünü, EPS ve organik esaslı yalıtım malzemeleri tercih edilmesi en sık rastlanan uygulamalardır.

Yalıtım malzemeleri mineral, organik ve sentetik olmak üzere üçe ayrılmışlardır. Bu yalıtım malzemelerinin kullanılacağı alana bağlı olarak yangına dayanımı, suya dayanımı, sağlamlığı, anti bakteriyel olması gibi özellikleri bulunmaktadır. Çizelge 2.5’de inorganik, Çizelge 2.6’da sentetik ve Çizelge 2.7’de organik yalıtım malzemeleri ile ısı iletkenlik katsayı değerleri bir arada verilmektedir.

Çizelge 2.5. İnorganik esaslı yalıtım malzemeleri ve ısı iletkenlik katsayısı değerleri

Malzeme Adı	Görsel	K (W/mk) (en az)	K (W/mk) (en fazla)
Foamglas Cam Köpüğü		0,038	0,055
Cam yünü		0,03	0,04
Taş yünü		0,032	0,04
Perlit		0,05	0,06
Vermikülit		0,06	0,08
Genleştirilmiş kil		0,1	0,16

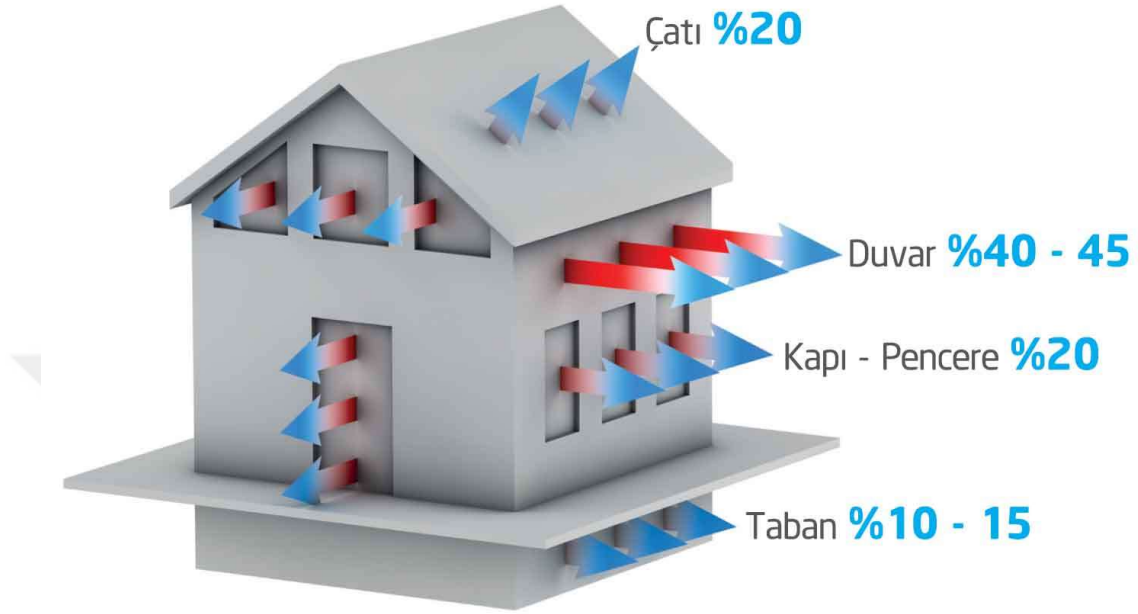
Çizelge 2.6. Sentetik esaslı yalıtım malzemeleri ve ısı iletkenlik katsayısı değerleri

Malzeme Adı	Görsel	K (W/mk) (en az)	K (W/mk) (en fazla)
Genleştirilmiş Polistren Köpük (EPS)		0,029	0,038
Polistren sert köpük(XPS)		0,029	0,037
Poliüretan (PUR)		0,022	0,03
Fenol Köpüğü		0,018	0,035
İnce ısı yalıtım katmanı		0,1	1
Vakum Yalıtım Panelleri		0,0042	0,005
Aerojel		0,011	0,013
Isı yalıtım boyası		0,55	0,55
Kil Tuğlası		0,12	0,18
Ponza taşı tuğlası		0,09	0,12
Gözenekli beton		0,09	0,09

Çizelge 2.7. Organik esaslı yalıtım malzemeleri ve ısı iletkenlik katsayısı değerleri

Malzeme Adı	Görsel	K (W/mk) (en az)	K (W/mk) (en fazla)
Mantar Yalıtım		0,032	0,049
Ağaç lifli ısı yalıtım levhası		0,037	0,049
Kenevir Yalıtım		0,04	0,046
Keten Yalıtım		0,037	0,04
Koyun yünü ısı yalıtımı		0,035	0,042
Hindistan Cevizi lifi (COCO)		0,037	0,045
Kamış Panel		0,056	0,056
Selüloz vatka		0,38	0,043
Hidrofil (pamuk) yün		0,037	0,042
Saman yalıtımı		0,05	0,075
Kerpiç		0,57	0,59
Hava Boşluğu		0,16	0,16

Binaların yapımı sırasında farklı malzemelerin birleşim detaylarında ısı kaçışları olmasına ısı köprüsü denilmektedir. Isı köprüleri duvar köşelerinde, pencere doğramalarından, çatı duvar birleşim noktalarında ısı köprüleri bulunmaktadır. Isı köprüleri en çok betonarme yapılarda meydana gelmektedir.



Şekil 2.10. Isı kaçışlarının yaşandığı yapı elemanları (Anonim 1)

Havanın soğumasıyla beraber ortamdaki buhar, ısı köprüsüne maruz kalan yapı elemanlarında yoğunlaşarak küf oluşumuna neden olmaktadır. Kullanıcıların yaşam konforunu tehdit eden bu durum aynı zamanda yapının ömrünün kısalmasına da neden olmaktadır (Anonim 1).

2.6.1.2 Hava sızdırmazlığı

Binalarda enerji tüketiminin artmasını veya azaltmasına neden olan bir faktör olan hava sızdırmazlığı iç hava kalitesine de önemli katkı sağlamaktadır. Hava sızdırmazlığının istenilen veya istenilmeyen durumları olabilir. Hava sızdırmazlığı fazla ise iç mekanda harcanan enerji tüketimi az olacaktır. Ancak bu durum iç mekanda iç hava kalitesi (IAQ) düşecektir (Sherman ve Chan 2006). Bu durumda ek havalandırmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Havalandırma sistemlerinin varlığı hava sızdırmazlığı özelliği ile paralel ihtiyaçlardır. İnşaat tamamlandıktan sonra bina kabuğunun hava sızdırmazlığının olup olmadığının kontrolleri ve gereksinimi karşılayıp karşılamadıklarına göre ilgili standartlara göre ölçümler yapılmaktadır. Bina hava sızdırmazlık testi aşağıdaki standartlardan en az birine göre yapılmaktadır (Anonymous 17);

- EN 13829:2001
- ISO 9972:2006
- ASTM E779-10
- ATTMA TSL2

Pasif Ev (Passivhaus) standartına göre hava sızdırmazlık açısından, yerinde bir basınç testiyle doğrulandığı üzere (hem basınçlı hem de basınçsız durumda) 50 Paskal basınçta saatte maksimum 0,6 hava değişimi beklenmektedir (Passiv 2015). Genellikle yeni konutların hava sızdırmazlığının eski binalara göre daha iyi olduğu düşünülse de betonarme yapı kullanımıyla bu durumun öyle olmadığı görülmektedir. Sinnott ve Dyer'e (2012) göre özellikle en fazla hava sızan yollar pasif duvar havalandırmaları, alçıpanda yanlışlıkla açılan delikler ve tavanı/ tabanı delerek yukarı/aşağı doğru giden tesisat borularıdır.

Hava sızdırmazlığını azaltmak için Uluslararası Havalandırma ve Enerji Performansı Bilgi Ağı'na (International Network for Information on Ventilation and Energy Performance / INIVE) göre planlama aşamasında karar verilip, inşa edilme sırasında kontrollerin sağlanması ile dikkat edilmelidir. Aynı zamanda dış duvarlarda kablolar, borular veya elektrik prizleri için delik açılan alanların sayısı minimumda tutulmalıdır (Anonymous 3).

Binalarda hava sızdırma ölçümleri ve bu konuda hassasiyet soğuk ülkelerde daha fazladır. Bu konu ile ilgili çalışmalar yapıp inşaat sonrası kontrollerin standartları sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmektedir. Isıtma yükünün fazla olması ile birlikte içeride ısıtılan mekanın dışarıda soğuk havaya temas eden yapı elemanlarında hava sızdırmazlığını sağlayan malzeme ve yapım tekniği kullanılmasıyla iç mekanda enerji tüketimini artmasını engellemişlerdir. Akdeniz bölgesinde ise binalarda hava sızdırmasıyla ilgili fazla bilgi bulunmamaktadır. İtalya'da yapılan bir çalışmada hava sızdırmazlığı konusunun yaygın olmamasından dolayı henüz standarda uygun yapım veya ölçüm limitleri bulunmamaktadır (Sfakianaki vd. 2008). Ancak günümüz koşullarına bakıldığında iklimin değişmesi ve sıcak havanın artmasıyla birlikte Akdeniz bölgesinde olan tüm ülkeler mevcutta havalandırma yoluyla sağlayabildiği serinliği artık sağlayamama durumuna gelmiştir. Hem kentsel sıcaklıkların artması (Santamouris 2007), hem de engelleyici binaların artmasıyla rüzgarların kesilmesi de (Ricketts vd. 2015) doğal havalandırmayı büyük ölçüde etkilemektedir. Özellikle yaz aylarında klimanın şart olduğu bu ülkelerde de hava sızdırmazlığının önemi artmaktadır. Klimanın iç mekanda harcadığı enerji miktarını arttırmamak binanın hava sızdırmazlık özelliğine bağlıdır. Bu durumda ısıtma yükü fazla ülkeler gibi soğutma yükü fazla ülkeler de hava sızdırmazlık standartlarına göre binalarında ölçümler yaparak uygunluğu sağlamak gerekecek.

Pasif Ev standartlarında dikkat edilmesi gereken kurallar;

- Kontrolsüz derzlerden sızıntı, 50 Pascal'da (hem basınçlı hem de basınçsız) bir basınç testi sırasında, boşluklardan kontrolsüz sızıntı saatte toplam ev hacminin 0,6'sından küçük olmalıdır.
- EN 13829 standardına göre bina kabuğu üzerinde sonucun 0,6 h-1'i geçmemesi gereken bir basınçlandırma testi yapılmalıdır.

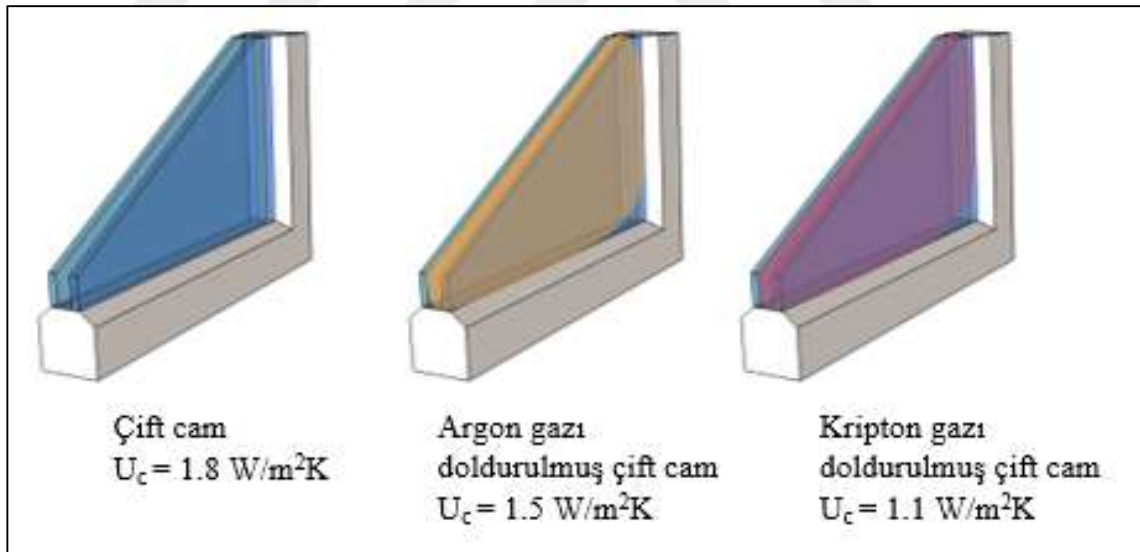
Bu durumda tüm binalarda olduğu gibi kapalı havuz yapıları gibi iç mekanda

sıcaklığın sağlık ve performans için sabit tutulması gereken durumlarda enerji yükünü arttırmamak için hava sızdırmazlık binalarda yapım tamamlandıktan sonra ölçümlenmesi gerekecektir.

2.6.1.3 Pencere ve kapılar

Kapılar ve pencereler çok fazla enerji akışının olduğu zayıf yapı elemanlarıdır. Bu alanlarda iyi yalıtım ve yapım tekniğine bağlı kontrollü sızdırmazlıklar dikkate alınmazsa küf oluşumu, yoğuşma ve cereyan gibi riskler ortaya çıkmaktadır. Pasif Ev konsepti ise bu konuda kapı ve pencerelerde yüksek yalıtımlı malzemeler kullanarak bu riskleri azaltmayı ve ortadan kaldırmayı hedeflemiştir. Bu durumda termal konfor için gerekli kontrollü havalandırma veya iç mekanda rahatsız edecek iç hava kalitesine uygun koşullar sağlanmaktadır. Pencere ve kapıların çerçevelerinin de yalıtımlarının dahil olduğu bu sistemde amaç güneşten gelen ısı kazanımlarından en yüksek fayda sağlayabilmektir.

Pencereler tekli cam, çift cam ve üçlü cam olmak üzere üç şekilde kullanılabilir. Dörtlü cam olarak üretilen pencereler de bulunmaktadır ancak dörtlü cam ile üçlü cam arasında bir fark olmadığı için kullanımlar daha çok üçlü cam üzerinedir (Anonymous 4). Çift cam ve üçlü cam sistemlerinin olduğundan daha da verimli yalıtım sağlayabilmesi amacıyla cam boşluklarına argon ve kripton olmak üzere iki gaz dolgu olarak kullanılabilir. Bu gazlar iç mekanda yoğuşma nedeniyle oluşan buğuyu engellemek için de kullanılabilir.



Şekil 2.11. Çift cam pencerelerin arasında Argon ve Kripton gazı doldurulması farkı (Anonymous 4)

Gazların havadan daha ağır olması nedeniyle argon ve kripton dolgulu pencerelerde ses yalıtımı ve ısı yalıtımı normal pencerelere göre çok daha iyi olduğu kanıtlanmıştır. Kripton gazının argon gazından daha iyi yalıtım sağladığı ancak maliyetinin neredeyse iki kat fazla olması nedeniyle çok fazla tercih edilmemektedir.

Kripton gazı doldurulan pencerelere ait bir yapıda aylık enerji faturasının %40 azaltılabildiği ancak fiyat performans olarak karşılaştırıldığında argon gazı daha avantajlı olması nedeniyle kripton fazla kullanılmamaktadır (Anonim 4).

Pasif Ev konseptinde ısı kaybını azaltmak için geniş pencereler kullanmaktan kaçınır ancak bu da güneşten elde edeceği kazanımın azalmasına neden olmaktadır. Çok geniş olması da istenmeyen ısı kazanımlarını arttırmaktadır. Ayrıca diğer bir kritik nokta da pencerelerin büyüklüklerinin havalandırmaya da etkisi olmasıdır (Moreno-Rangel 2020). Bu nedenle yapı içerisinde projenin tasarlanma sürecinde başlayan pencere boşluklarının tasarlanması, dengenin kurulması, yaz ve kış sıcaklıklarına göre uyum sağlaması için büyük öneme sahiptir. Pasif Ev'e göre pencere boyutları her projenin tasarımına göre değişse de, bileşen sertifikası için "standart boyut" 123 × 148 mm'dir. Pencerelere benzer şekilde, kapıların U değeri 0,8 W/m² K olmalı ve hava geçirmez olmalıdır (Moreno-Rangel 2020). Pencereler gibi kapılarda da ısı kayıpları cephede bulunan kapı ve iç mekanda bulunan kapılar ayırt edilmeksizin U değerleri iyileştirilmelidir. Yalıtım kadar pencere ve kapıların montajları da termal köprülerin oluşmasını engeller ve istenilen hava sızdırmazlık değerine ulaşmasını sağlar. Özellikle çerçeve boyunca yalıtım malzemesi ile geçilmesi kayıpları büyük oranda engellemektedir.



Şekil 2.12. Kapı çerçevesi yalıtım malzemesi ile geçilmesi (Anonymous 2)

Güneşten alınan ısı kazançları bu şekilde verimli bir şekilde kullanılabilir. İçerideki havanın da dışarıya çıkması engellendiği için Passivhaus konsepti gereklilikleri bu şekilde sağlanabilir.

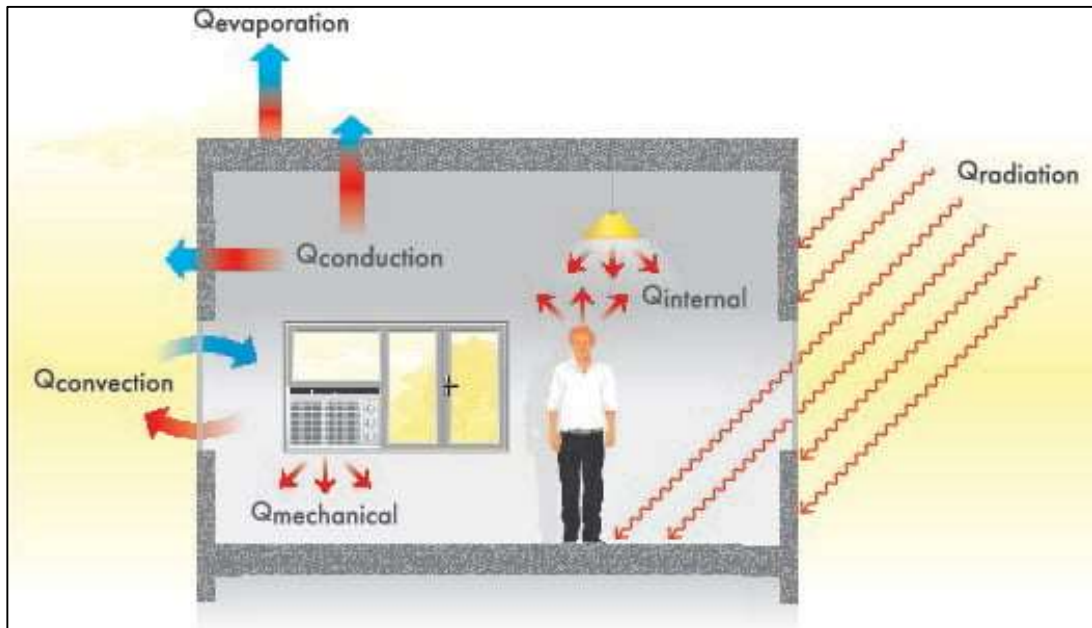
2.6.1.4 Havalandırma

Pasif Ev konseptinde havalandırma mekanik ve doğal yollarla gerçekleştirilebilir.

İhtiyaç olan havalandırmanın iç mekanda yaratacağı konforun ve iklim koşullarına göre istenmeyen ısı değişimini de etkilememesi için ek olarak mekanik havalandırmaya ihtiyaç duyulabilmektedir. Mekanik havalandırma için Isı Geri Kazanımlı Mekanik Havalandırma (Heat Recovery Ventilation / HVR) sistemleri taze havayı ara vermeden sürekli kullanılmasını sağlamaktadır. Aynı zamanda mekanik havalandırma ile ısıtma veya soğutma için enerji kayıplarını azaltmayı sağlamaktadır. Doğal havalandırmanın mekanik havalandırma ile aralarındaki önemli fark ise dış mekanda oluşan hava kirliliğinin iç mekana ulaşmaması için mekanik havalandırmanın avantaj sağlamasıdır. Isı Geri Kazanımlı Mekanik Havalandırma ile passivhaus konsept binalarda belli bir seviyede hava akışı olamsı gerekmektedir. Düşük hava akışı sağlığı olumsuz etkilerken yüksek hava akışı kuru havaya neden olmaktadır (Moreno-Rangel 2020). Bu nedenle ideal hava akışı Passivhaus Enstitüsüne (2017) göre, kişi başı 30 m³ /h geçmemelidir. Mekanik çözümlerden olan diğer bir havalandırma ise Enerji Geri Kazanımlı Mekanik Havalandırma (Energy Recovery Ventilation / EVR) sistemidir. Bu sistem de daha çok kuru havalarda enerjinin geri kazanımını sağlayarak iç mekanın daha nemli olması için kullanılmaktadır. HVR ve EVR kullanımları tamamen iklime ve iç mekanın kullanım amacına bağlıdır. Kapalı havuzlar gibi nemli bir alanda nemin sabit tutulması ve dış mekanın da bağlı neminin %60 üzeri olması HVR sisteminin kullanılmasını uygun olduğunu göstermektedir.

2.6.1.5 Termal konfor

Pasif Ev konseptinin amacı, minimum enerji talebi ve maliyeti ile iç hava kalitesi ve termal konfor açısından kabul edilebilir bir iç ortam sağlamaktır (Figueiredo vd. 2016; Feis vd. 2005). Yalıtım, hava sızdırmazlığı, havalandırma, ısı köprüsü, verimli pencere ve kapı sistemleri ile birlikte termal konforu oluşturmaktadır. İç mekanın hem insan sağlığını olumsuz etkilemesini engellemek hem de rahatsız edici faktörleri uzaklaştırmak için yukarıda da maddeler halinde açıklanan bu beş özelliğe dikkat edilmesi gerekmektedir.



Şekil 2.13. Termal konforu oluşturan temel ilkeler görseli (Anonymous 18)

Bunlarla birlikte iç mekanda termal konfora etki eden farklı unsurlar da bulunmaktadır. Mekandaki aydınlatma elemanlarının sayısı, mekanda bulunan kullanıcı sayısı, mekanın metrekaresi bunlardan birkaçıdır. Kapalı yüzme havuzlarında kullanıcı sayısının fazla olması iç mekanda ısı artışına neden olmaktadır. Mekanın büyüklükleri de normal yapılardan daha büyük iç mekana sahip olması nedeniyle aydınlatma sayısının artışına neden olmaktadır. Bu nedenle kullanılan yüksek tavanlar ısıнын anında artmasını engellemektedir.



3. MATERYAL VE METOT

Çalışmada Akdeniz bölgesinde bulunan yarı olimpik kapalı havuz alanlarında yapıların büyüklüğü, kat yüksekliği, binanın yönü ve yapı elemanları malzeme özellikleri gibi tasarım parametreleri bakımından yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının ve yıllık soğutma enerjisi ihtiyacının tasarım aşamasında tahmin edilmesi sinirsel bulanık mantık ile hesaplanarak ideal binanın özellikleri bulunması hedeflenmiştir. Sinirsel bulanık mantık için kullanılan parametrelerle elde edilen sonuçların incelendiği çalışmaların araştırılması için literatür taraması yapılarak bina enerji ihtiyacı ve kapalı havuz yapılarıyla ilgili veriler elde edilmiştir. Bu çalışmalar ile birlikte Pasif ev konseptinin uygulanmış örnekleri incelenerek yapı tasarımına dair veriler toplanmıştır. Literatürde pasif ev konseptinin sıcak iklimlerde uygulanmasına yönelik araştırmaların eksik olduğu anlaşılmaya üzerine yapılan bu çalışmada, kapalı havuz yapılarının sıcak iklimlerde uygulanmasına yönelik elde edilen sonuçların bina uygulama öncesi rehberi oluşturulacaktır.

Tezin akışını gösteren Şekil 1.1’de bulunan yöntem akış şemasına göre, literatür taramasında çalışmanın girdileri için araştırma yapılarak örneklem seçimi aşamasında elde edilen parametreler değerlendirme aşaması için girdi olarak kullanılacaktır.

Çalışmanın değerlendirme aşaması iki bölümden oluşmaktadır. İlk bölümünde MATLAB yazılımı yardımıyla Sinirsel Bulanık Mantık yöntemi ANFIS ile girdiler ve üyelik fonksiyonları girilerek kurallar oluşturulması, sisteme tanımlaması ve çıktı için öğrenme aşaması sağlanmaktadır. Çıkan sonuçlara göre alternatifler değerlendirilerek karşılaştırma tabloları oluşturulmaktadır. Değerlendirme sürecinde Pasif Ev konseptine ait kapalı havuz yapılarının soğuk iklimler ile ilgili rehberi de değerlendirilerek sıcak iklime uygun termal konfor ve enerji verimliliği sağlayan tasarım fikri oluşturulmaktadır. Çalışmanın ikinci bölümünde TS 825 Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları standartına göre hesaplamalar yapılarak bina kat yüksekliği, mekan büyüklüğü, yalıtımı iyi veya yalıtım değeri düşük malzemeler kullanımları sonucu bina enerji ihtiyacına yönelik ısı kayıpları değişiklikleri ortaya çıkarılmaktadır.

Tüm bu aşamalardan sonra soğuk iklimde uygulanmış pasif ev konseptine sahip kapalı havuz yapıları ile sıcak iklimde uygulanacak pasif ev konseptine sahip kapalı havuz modelinin değerlendirilmesi yapılarak modellemesi sunulmaktadır. Bu aşamaları yaparken MATLAB yazılım programı sinirsel bulanık mantık yöntemiyle yapay zeka kullanılarak sayısal sonuçlar elde edilmiştir. Bu sayısal sonuçların değerlendirilmesi ve bina tasarımına yapay zekanın etkisi ortaya konulacaktır.

3.1 Sinirsel Bulanık Mantık Model Kurgusu Mimari Tasarım Sürecinde Yapay Zekanın Kullanımı

Yapay zeka ilk olarak 1950’li yıllarda John McCarty tarafından düşünme ve karar verme ile ilgili olarak insanı örnek alan bir yapı çalışıldığını ve bir düşünme girişimi oluşturulduğunu ortaya çıkarmıştır (Yalkı 2001; Penrose 1997). Yapay zeka yöntemlerinden biri olarak kullanılan bulanık mantık ile ilgili ilk bilgiler 1965 yılında Zadeh tarafından literatüre geçmiştir (Özkan 2022; Zadeh 1965). Bulanık mantık yönteminin yaygınlaşmasıyla Japonya’da özellikle teknolojik gelişmeler sayesinde 1970 yılından sonra ve Türkiye’de yapılan çalışmalarla batıdan daha fazla benimsenmiştir.

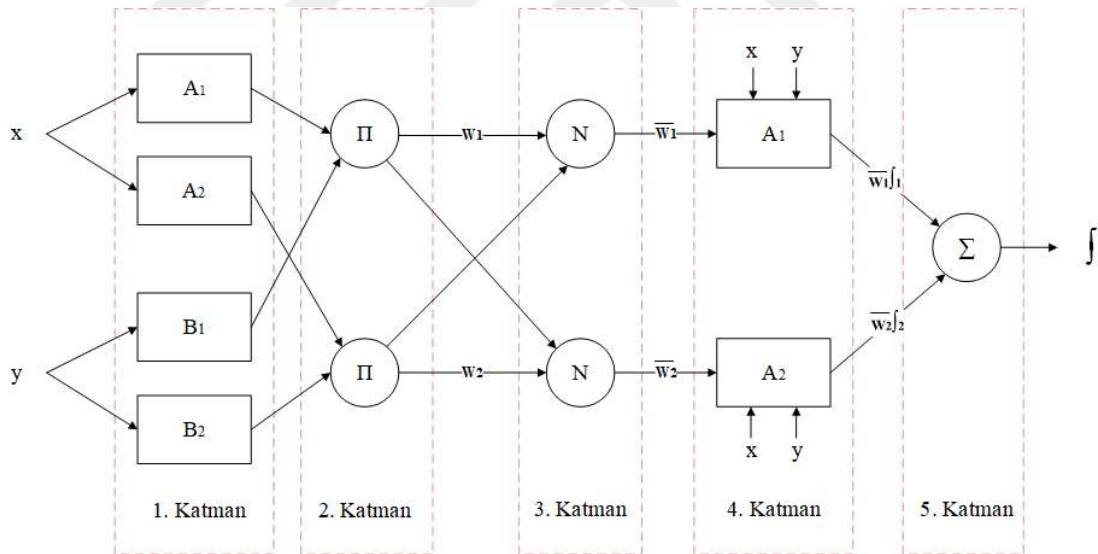
Özkan'a (2022) göre bunun nedeni, felsefî düşünce yapısının doğu ülkelerinde daha yaygın olduğunu, batıda ise kesin katı kuralların varlığını kabul ettiklerini yani var ya da yok mantığı ile çakışmasından dolayı bulanık mantığın geç ilerlediğini göstermektedir. Klasik mantık 1 ve 0 iken (var ya da yok), bulanık mantık 1 ile 0 arasındaki sözel değerlerdir. Yapay zeka yöntemlerinden bir diğeri de sinirsel bulanık mantıktır. Yapay sinir ağları ile ilk çalışmalar MC Culloch ve Pits tarafından, önerme mantığı hesaplama modeli ve kuramına dayanarak mantıksal işlemlerin yapılabileceğini göstermiştir (Piccinini 2004). Dixon vd. 1984'de Amerika Birleşik Devletleri'nde verdiği konferansta belirttiğine göre, yapay zeka mimaride karar verme ve yeniden tasarlama sürecinde faydalı olacağı ve bu konuda daha çok bilgiye ulaştıkça yeni fırsatlar çıkacağını belirtmiştir. Günümüzde ise yapay zeka mimari de hala tam anlamıyla kullanılmasa da tasarımda karar verme ve eskiz çalışmaları yapan yapay zeka modeli üretilmiştir. 2017 yılında Yıldız ve Aktaş, bulanık mantık yardımıyla erken tasarım aşamasında değişken parametrelere bağlı olarak öneri tasarımlar oluşturularak cephe modeli oluşturmuşlardır (Yıldız ve Aktaş 2017). Aynı sene Banaei vd.'nin (2017) yaptığı çalışmada iç mekan ile ilgili yapay zeka ile benzer form ve ölçek gibi parametrelere göre kümeleme analizi yapılarak sonuçların başarılı olup olmadığı incelenmiştir. Farklı tarihsel dönemlerden farklı stiller ile toplanan konut oturma odası örnek görüntüleri üzerinde kümeleme analizi sonuçlarına göre, her bir kümedeki tüm görüntülerin benzer formlara sahip olduğu 25 resmi kümeyi ortaya çıkararak tanımlayıcı özellikler, kümeler arasındaki benzerlik ve farklılıkları göstermiştir. 2020 yılında Yıldırım ve Demirarslan, yapay zekanın tasarım aşamasında kullanıldığı ve analiz kısmında değişken parametrelerin bir araya getirilmesi aşamasında bilgileri organize etmenin öneminden bahsetmişlerdir. Tasarımcı tarafından geliştirilen bu modelin sistem tarafından verilerin işlenerek tasarım problemine uygun çözüm önerileri sunduğunu savunmuşlardır (Yıldırım ve Demirarslan 2020). 2021 yılında yapılan çalışmada Han ve Shin, mimari görüntü verilerine dayanarak, fotoğraf veya eskizleri analiz edip öğrenme yoluyla mimari tasarım aşamalarından fikir planlama aşamasında gerçekleştirilen sanal bir tasarımı hayata geçirmek için kullanılabilecek bir otomasyon tekniği geliştirmişlerdir. Hala bazı aksamaları olduğu belirtilen çalışmada duvar ve pencerenin eskizde birbirinden ayırt edilememesi gibi problemi olduğu belirtilerek bu konuda iyileştirmelere devam edildiği ve sonucunda soyut bir taslak ile yapay zeka sayesinde fotoğraf gibi görüntüler oluşturmasını sağlayan araştırmalara dönüşmesi amaçlanmıştır (Han ve Shin 2021). Benzer bir başka çalışmada Zhou'a (2021) göre, yapay zeka sayesinde oluşan birden fazla seçenekte tasarımların yaklaşımın varyasyonlarındaki çok yönlülüğün faydalı olabileceğini belirtmiştir. Tasarımın başladığı noktada tasarlama / planlama aşamasında eskiz çizerken yapay zeka tarafından önerilen birden fazla olası seçenekle mimarlara kavramsal ilham vermelerine yardımcı olabileceğini belirtmişlerdir (Zhou 2021). Yapılan araştırmalara göre yapay zeka mimari tasarım ve iç mekan formları oluşturma süreçlerinde tasarıma başlamadan önce karar verme aşamasında kullanılmış ve bu konuda çalışmalar devam etmektedir.

Bulanık mantık ve yapay sinir ağları en çok kullanılan yapay zeka yöntemlerindendir (Yılmaz 2017). Bulanık mantık ve yapay sinir ağları arasındaki en önemli fark; bulanık mantık tabanlı sistemlerde eğitim ile öğrenme gerçekleşemezken yapay sinir ağlarında eğitimle öğrenme yeteneğine sahiptir. Sinir ağlarının bulanık küme teorisi ile hesaplama tekniği insanların tahmininden fazlasına ve hesaplama güçlüğü çekildiği çok girdili durumlarda sadeleştirme yoluyla sonuca ulaşma sistemidir. Bu hesaplama tamamen var olan bilgilerin sisteme girilmesi yoluyla olduğu için girdiler

tahmin dışı değildir. Çıktılar ise kurallar yoluyla önerileri beraberinde getirmektedir.

Öğrenme yeteneğine sahip olan Sugeno tipi bulanık sistemin sinirsel öğrenme yeteneğine sahip bir ağ yapısına sahip ANFIS, uyarlamalı sinirsel bulanık çıkarım sistemidir. Yapay sinir ağlarının eğitim yolu ile öğrenme becerisine ek olarak anında hesaplama becerisine sahip bulanık çıkarım özelliği ile birleştirilerek kullanılan bir yapay zeka yöntemidir (Yılmaz 2017). Bu yöntemin uyarlanabilir olması bulanık mantık sisteminde sunulan verileri kullanarak problemi öğrenmesi ve kendisini güncelleyerek tekrar öğrenmesinden kaynaklanmaktadır. ANFIS'in problem çözmedeki becerisi belirsizlik durumlarında insanı taklit ederek verilen sözel verilerin en iyi sonuçları vermesini sağlamaktadır. ANFIS'in üç bileşeni; kural tabanı, veri tabanı ve akıl yürütme mekanizmasıdır (Yücel 2010). Sinirsel bulanık arayüzünde önceden belirlenmiş girdiler ve çıktılar "Eğer – İse" (If-Then) kuralları oluşturulması gerekir. ANFIS'te bu kurallar, girdi ve verim bilgisi açısından doğal olarak tatmin edici standartlar üretir ve sinir sistemlerinin öğrenme kapasitelerini teşvik eder (Ak 2017).

ANFIS birbirleri arasında iletişim sağlayan altı katman ve birbirleriyle ilişkili olmasını sağlayan düğümlerden oluşmaktadır. Yapıda her düğüm bir işlemi belirtir. Bulanık kurallarda veri aralıkları belirlenen üyelik fonksiyonları atanır. Son olarak uygun sonuç için sistem uygulanmaya başlanır. Şekil 3.1'de gösterildiği gibi iki girişli ve iki kurallı örnek olarak tasarlanan modelin ağ diyagramında katmanlar ve düğümler arasındaki ilişkiler alt başlıklar olarak açıklanmaktadır.



Şekil 3.1. ANFIS yapısının modeli (Jang, 1993)

Aşağıdaki denklemlerde yer alan x ve y olarak belirtilen ilk giriş verilerini Şekil 3.1'de gösterilmektedir. Birinci katmanda bulanık kümeleri ifade eden A_1 ve B_1 , dışarıdan sisteme sunulan giriş verilerinin anlamlandırılması sağlamaktadır. Bu anlamlandırma ile bulanıklaşma işlemi yapılmaktadır. Aynı zamanda bulanıklaşma olarak tanımlanan terim ise bulanık kümelerin geneline verilmiş isimdir.

Üyelik fonksiyonu: Üyelik fonksiyonları (MF) bulanık kümeye ait üyelerin değerlerine göre değişen eğriye verilen isimdir. Her bir değer 0 ile 1 arasındaki değere nasıl eşlendiğini açıklayan eğridir (Mistry vd. 2014). Bulanık mantıkla yapılan çalışmalarda bulanık modeller oluşturulurken farklı şekillerde üyelik fonksiyonları kullanılabilir. Bulanık kümelerin birden fazla üyelik fonksiyonu bulunmaktadır. Bunlar Üçgen, yamuk, çan eğrisi, Gaussian ve sigmoid en çok kullanılan üyelik fonksiyonlarıdır.

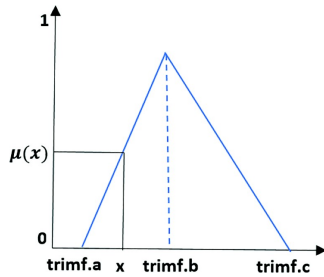
Şekil 3.1’de ANFIS yapısı modelindeki bulanık kümelerden çıkan düğümlerde ise μ_{Ai} ve μ_{Bi} bulanık kümelere ait üyelik fonksiyonlarını ifade etmektedir. Burada bulunan tüm belirsizlikler sayısal olmayan ifadeler olması nedeniyle 0 ile 1 arasındaki değerlerle ifade edilmektedir. Sözel olarak 1 “var” 0 “yok” anlamı olarak düşünülürse 1 ve 0 arasındaki değerlere bulanık değerler denilebilir. Bu durumda sözel ifadelerin sayısal ifadelerle gerçekleşmesi mümkün olmaktadır. Sonraki aşamalarda ise normalizasyon, bulanıklaşan değerleri arındırma ve çıkış katmanları için denklemler açıklamalarıyla aşağıda verilmektedir.

Girdiler: Bu ilk katmandaki parametreler bir sonraki katmanda bulunan düğümlere aktarım sağlamaktadır. Bu katmanda işlem yapılmamaktadır. Var olan verilerin diğer katmana aktarılacak üyelik fonksiyonlarına girdi olması sağlanmaktadır. Burada x ve y girdidir ve pasif katmandır.

Girdilerin sayısı değişiklik gösterebilir. Şekil 4.1’de verilen örnekte iki girdi gösterilirken daha fazla girdi ile işlem yapmak mümkündür. Girdilerin bulunduğu katmanda işlemin başlaması için birinci katmanda üyelik fonksiyonlarının uygulanması gerekecektir.

1.Katman: Girdi verilerine üyelik fonksiyonları uygulanarak bulanıklaştırma işlemi yapılır ve bulanıklaştırma ilk kez bu katmanda yapılmaya başlanmaktadır. Üçgen, yamuk, gauss tiplerinde üyelik fonksiyonları için üyelik derecesi için denklemleri farklı olmakla birlikte kendi içlerinde değerlendirme ve sonuca ulaşma konusunda farklı yöntemler izlemektedir. Şekil 3.2’de örnek olarak gösterilen üçgen ve Şekil 3.3’de gösterilen yamuk üyelik fonksiyonuna yönelik belirtilen “ x ” bulanık kümede girdileri temsil eden “ a, b, c, d ” üçgen veya yamuk tip üyelik fonksiyonları parametrelerini belirtmektedir. Burada parametrelerin diğer parametrelerle örtüşecek şekilde alt kümelerin oluşturulması gerekmektedir.

Üçgen üyelik fonksiyonu ile üyelik dereceleri aşağıdaki denklem ile hesaplanır;



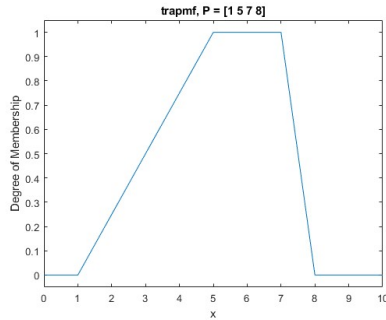
$$\text{if } a > x \parallel c < x \rightarrow \mu(x) = 0$$

$$\text{if } a \leq x \leq b \rightarrow \mu(x) = \frac{x - a}{b - a}$$

$$\text{if } b \leq x \leq c \rightarrow \mu(x) = \frac{c - x}{c - b}$$

Şekil 3.2. Üçgen üyelik derecesi grafik gösterimi (Trimf)

Üçgen üyelik fonksiyonu yamuk üyelik fonksiyonunun özel bir halidir (Özkan 2022; Ubando vd. 2017). Yamuk üyelik fonksiyonu ile üyelik dereceleri aşağıdaki denklem ile hesaplanır;



$$\text{if } a > x \parallel d < x \rightarrow \mu(x) = 0$$

$$\text{if } a \leq x \leq b \rightarrow \mu(x) = \frac{x-a}{b-a}$$

$$\text{if } b \leq x \leq c \rightarrow \mu(x) = 1$$

$$\text{if } c \leq x \leq d \rightarrow \mu(x) = \frac{d-x}{d-c}$$

Şekil 3.3. Yamuk üyelik fonksiyonu (Trapmf)

2.Katman: Kuralların oluşturulduğu katmandır. Katmanda bulunan her bir düğüm sistemde bulunan kuralları ifade etmektedir. Her bir düğümün çıkışı ise ilgili kuralın ateşleme seviyesini göstermektedir. Her düğüm Π ile belirtilerek ateşleme seviyesi sonucu düğüme gelen tüm sinyallerin çarpımlarını göstermektedir.

$$w_i = \mu_{Ai}(x_1) \cdot \mu_{Bi}(x_2) \dots \mu_{Ki}(x_k)$$

Bu katmanda düğüm çıkışı için formül aşağıdadır.

$$w_i = \frac{\mu_{Ai}(x_1) \mu_{Bi}(x_2) \dots \mu_{Ki}(x_k)}{2 - (\mu_{Ai}(x_1) + \mu_{Bi}(x_2) + \dots \mu_{Ki}(x_k) - \mu_{Ai}(x_1) \mu_{Bi}(x_2) \dots \mu_{Ki}(x_k))}$$

Bu formüllerde w_i ile belirtilen ilgili kural için ateşleme seviyesi sonucunu ifade etmektedir.

İki girişi (x ve y) ve bi çıkışı olan (f) Takagi-Sugeno bulanık çıkarım sistemi kullanılacak olan çalışmada “Eğer-İse” kuralı aşağıda verilen denklemdeki gibi oluşturulmaktadır.

$$\text{Kural 1: Eğer } x = A_1 \text{ ve } y = B_1 \text{ ise } f_1 = p_1 \times x + q_1 \times y + r_1$$

$$\text{Kural 2: Eğer } x = A_2 \text{ ve } y = B_2 \text{ ise } f_2 = p_2 \times x + q_2 \times y + r_2$$

Bu kuralları sayısı edinilen verilerdeki değişkenlere veya bağlı olması gereken parametrelere göre değişebilmektedir.

3.Katman: Bir önceki katmandan gelen ateşleme seviyelerini kuralların her bir düğümü norm altına alarak normalizasyon işlemi uygulanmaktadır. Bu katmanda kullanılan formül;

$$\overline{w}_i = \frac{w_i}{\sum_{k=1}^n w_k}$$

Formülde belirtilen “ w_i ” bir önceki katmandan gelen normalize edilmiş ateşleme seviyeleri, “ i ” hangi düğümün olduğunu ve “ n ” ise ateşleme seviyesinde üretilen düğüm sayısını belirtmektedir.

4.Katman: Bu katmanda bulanık sonuçları arındırma ve sayısal değerlere dönüştürerek sonuçlandırma katmanıdır.

$$\overline{w}_i \cdot f_i$$

5.Katman: Bu katman bir düğüme sahip sistemin tek çıkış değerini üretebilmesi için tüm düğümlerin çıkış değerleri toplayarak elde edilen bir çıkış katmanıdır.

$$f_{\text{çıkış}} = \sum_{i=1}^n \overline{w}_i \cdot f_i$$

Formülde belirtilen $f_{\text{çıkış}}$ çıkış katmanı olan 5. Katmana gelen sinyallerin toplamını ifade etmektedir.

Bu katmanlarda girdiler ANFIS strüktüründe çıktıya ulaşabilmeleri için aynı süreçlerden geçmesi gerekmektedir. ANFIS’de belirlenen girdiler ve üyelik fonksiyonları ile eğitimi başlanarak çıktı için belli kuralların oluşturulması gerekmektedir. Modelin performans değerlendirme ölçütü olarak hata karelerinin ortalamasının kökü (Root mean square deviation / RMSE) değeri kullanılmaktadır (Doğan 2016). Elde edilen RMSE değeri eğitilen ve ortaya çıkan sonucun doğruluk payını göstermektedir.

3.2 Sinirsel Bulanık Mantık Parametrelerinin Belirlenmesi

Sinirsel bulanık mantık yöntemi ile kapalı havuzlarda pasif ev gerekliliklerini sağlayacak bazı çıktıların bulunması hedeflenmiştir. Girdiler iki aşamalı olarak her iki değerlendirme aşaması için de kullanılmaktadır. İlk aşamada sinirsel bulanık mantık yöntemi ile elde edilecek çıktıların girdisi hazırlanmaktadır. İlk aşamada kullanılacak olan sinirsel bulanık mantık girdileri aşağıdaki gibidir;

- 1- Dış mekan sıcaklık değeri
- 2- Yapıda ihtiyaç olan toplam enerji
- 3- Yalıtım U değeri
- 4- Doğal Havalandırma (var / yok)
- 5- Gölgeleme elemanı (var / yok)
- 6- Binanın yönü (Güney / Kuzey / Doğu / Batı)
- 7- Pencere duvar oranı (PDO)

Verilerin ANFIS sinirsel bulanık mantık yöntemiyle işlenmesi sonucu elde edilen çıktı;

- Pencere duvar oranı (PDO) veya Yapıda ihtiyaç olan toplam enerji

Duvarın pencereye olan oranı mimari olarak güneşi alma miktarı, ısınma yükü ve soğutma yükünü büyük oranda etkilemektedir. Bu nedenle hangisinin çıktı olması gerektiği sinirsel bulanık yöntemi ANFIS ile ortaya sonraki aşamada çıkmaktadır.

Pencere duvar oranına yönelik literatürde birçok örnek bulunmaktadır. Marino ve arkadaşları (2017) binanın bulunduğu yerin iklim durumunu uygun bir şekilde göz önünde bulundurması gereken bina kabuğunun doğru tasarımının, inşaat sürecinin çok önemli bir aşaması olduğu yönünde İtalya’da araştırma yapmışlardır. Xue ve arkadaşları (2019) Güneş ışığı ve enerji tasarrufu gereksinimlerini güneşliklerin pencere ile duvar oranına optimizasyonu üzerine Çin’de araştırma yapmışlardır. Otel odaları manzaraları düşünülerek gün ışığı gereksinimi en az pencere duvar oranı değerini belirlerken, enerji tüketimi maksimum değere sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Aydınlatmanın pencere duvar oranına etkisini de inceleyen (Zolfaghari ve Jones 2022) ve pencere-duvar oranının alan ısıtma ve soğutma için enerji ihtiyacı üzerindeki etkisini Turin ve Helsinki’de bir ofis binası üzerinde uygulanması üzerine çalışmalar yapılmıştır (Chiesa vd. 2019). Bu sonuçlar için kullanılan parametreler; yalıtım seviyesi, binanın yönlendirmesi, gölgeleme, kontrollü doğal havalandırmadır. Bu çalışmada da Akdeniz iklim koşullarının etkisi incelenmesi üzerine Pasif Ev konseptinin uygulanabilirliği üzerine sinirsel bulanık mantık yöntemi ile TS 825 standardının sonuçları ve uygulanabilirliği mevcut bir kapalı havuz işletmesi tarafından karşılaştırma yapılarak incelenmektedir. Kapalı havuz Antalya Muratpaşa Belediyesi Süleyman Erol Olimpik Yüzme Havuzu üzerinden değerlendirilmektedir.

Girdilerin kullanıldığı diğer aşama TS 825 üzerinden hesaplamalar ile yapılmaktadır. Amaç bir kapalı havuzda ANFIS yardımı ile ihtiyaç duyulan en az enerji miktarını bulduktan sonra bazı parametrelerin sabit tutularak ısı kayıplarının ne kadar etkilediği hakkında bilgi toplamaktır. İkinci aşamanın girdileri aşağıdaki gibidir;

- 1- Dış duvar U değeri (W/M2k)
- 2- Tavan/Çatı U değeri (W/M2k)
- 3- Taban/Döşeme U değeri (W/M2k)
- 4- Pencere/ Cam U değeri (W/M2k)
- 5- Pencere/ Cam alanı -Güney (m2)
- 6- Pencere/ Cam alanı -Kuzey (m2)
- 7- Pencere/ Cam alanı -Doğu (m2)
- 8- Pencere/ Cam alanı -Batı (m2)
- 9- Dış duvar alanı (m2)
- 10- Tavan/Çatı alanı (m2)
- 11- Taban/Döşeme (m2)
- 12- Dış ve iç sıcaklık arasındaki fark
- 13- Bina brüt hacmi (m3)

Tavan, taban ve duvar malzeme katmanlarının bir arada oluşturacağı U değeri için TS 825 Binalarda Isı Yalıtım kurallarına bağlı formülleri baz alınarak analizler değerlendirilmek için sinirsel bulanık mantık parametrelerinden ideal olan bilgiler bulunarak bu hesaplamalara eklenmektedir.

Yapı elemanları U değerlerini elde edebilmek için yapıda kullanılacak malzemelerin bir araya getirilerek tartışma bölümünde seçme ve değerlendirme aşaması uygulanmaktadır. Çizelge 3.1, 3.2 ve 3.3 için bazı elemanların kalınlık ve K / U değerleri bilgileri yer almaktadır.

Çizelge 3. 1. Girdi olarak kullanılan duvar yapı malzemeleri

Malzeme Adı	Görsel	Kalınlık d(cm)	K (W/mk)	d/K (m ² k/w)
Betonarme Duvar		0,2	1,8	0,11
Ytong		0,3	0,15	2,00
İzoTuğla		0,19	0,21	0,90
Bims-İzo Tuğla		0,15	0,18	0,83
Yatay Delikli Tuğla		0,135	0,45	0,30
Yatay Delikli Tuğla		0,19	0,45	0,42
Alçı Karton Plak		0,01	0,21	0,05
Odun talaşı levha		0,05	0,08	0,63
Dolu Tuğla		0,2	0,72	0,28
Ahşap plaka		0,02	0,16	0,13

Çizelge 3.2. Girdi olarak kullanılan tavan çatı yapı malzemeleri

Malzeme Adı	İçerik	K (W/mk)
Kil Esaslı Kaplama Malzemeleri	Marsilya Kiremit Alaturka Kiremit Düz Kiremit Roman Kiremit Oluklu Kiremit	0,72
Çimento Esaslı Kaplama Malzemeleri	Lifli Çimento Esaslı Oluklu Levha Çatı Kaplamaları Beton Kiremitler	0,360
Bitüm Esaslı Kaplama Malzemeleri	Asfalt Çatı Shingle Yalteks Shingle PVC (Polivinil klorür) Esaslı Çatı Kaplama Polikarbonat Esaslı Çatı Kaplama Ürünleri Sinüs Oluklu Ondüle Levhalar	0,500
Plastik Esaslı Kaplama Malzemeler	Akrilik Cam Esaslı Çatı Kaplama Ürünleri Cam Takviyeli Polyester Levhalar Plastik Esaslı Kiremit	0,500
Metal Esaslı Kaplama Malzemeler	Metal Kiremitler Düz Alüminyum Levhalar Trapez Alüminyum Levhalar Galvanize Sac Çatı Tek Kat Metal Levhalar Çinko Levhalar Bakır Levhalar Kurşun Levhalar Çelik Levhalar Sandviç Paneller	0,290
Ahşap Kaplama	Ahşap Kaplama OSB Kaplama Ytong Çatı Plağı	0,140
Betonarme	-	1,5

Çizelge 3.3. Girdi olarak kullanılan duvar yapı malzemeleri

Malzeme Adı	Görsel	K (W/mk)	U W/M2k
Ahşap Parke		0,16	0,46
Granit (Yüksek)		1,73	0,32
Granit (Düşük)		3,98	0,40
Granit (Barre)		2,79	0,37
Kireçtaşı (Yüksek)		1,26	0,26
Kireçtaşı (Düşük)		1,33	0,27
Kireçtaşı (Salem)		2,15	0,32
Mermer (Yüksek)		2,07	0,31
Mermer (Düşük)		2,94	0,34
Mermer (Halston)		2,8	0,34
Kumtaşı (Yüksek)		1,83	0,38
Kumtaşı (Düşük - Berea)		2,9	0,42

Çizelge 3.3.'in devamı

Kuvarsit (Sioux)		5,38	0,40
Beton Fayans		1.100	
Kayrak Fayans		2.000	
Plastik Fayans		0.500	
Kauçuk Fayans		0.300	
Mantar Fayans		0.080	
Şap		0.410	
Granolitik Sıva/Şap		0.870	

Pencere çeşitliliğine göre U değerleri girdi parametrelerine eklenmektedir. Çizelge 3.4 ve Çizelge 3.5'te ise pencere ve cam tiplerine göre U değerleri bilgileri yer almaktadır.

Çizelge 3.4. Girdi olarak kullanılan üçlü cam cam pencere tipleri

Üçlü cam				
Pencere tipi	Hava kaplı Isı İletim Kats. W/m ² .K	Argon kaplı Isı İletim Kats. W/m ² .K	Kripton kaplı Isı İletim Kats. W/m ² .K	SF6 Isı İletim Kats. W/m ² .K
Kaplamasız cam (Normal cam)	2,3	2,1	1,8	2
	2	1,9	1,7	2
	1,9	1,8	1,6	2
İki kaplamalı cam	2	1,7	1,4	1,6
	1,7	1,5	1,2	1,6
	1,5	1,3	1,1	1,6
İki kaplamalı cam	1,8	1,5	1,1	1,3
	1,4	1,2	0,9	1,3
	1,2	1	0,8	1,4
İki kaplamalı cam	1,7	1,3	1	1,2
	1,3	1	0,8	1,2
	1,1	0,9	0,6	1,2
İki kaplamalı cam	1,6	1,3	0,9	1,1
	1,2	0,9	0,7	1,1
	1	0,8	0,5	1,1

Çizelge 3.5. Girdi olarak kullanılan tek ve çift cam pencere tipleri

	Tek Cam		Çift Cam											
	Pencere (Tek Cam)	U değeri. W/m2. K	Pencere Tipi / Kaplama	U değeri. W/m2. K	Pencere Tipi / Kaplama	U değeri. W/m2. K	Pencere Tipi / Kaplama	U değeri. W/m2. K	Pencere Tipi / Kaplama	U değeri. W/m2. K	Pencere Tipi / Kaplama	U değeri. W/m2. K	Pencere Tipi / Kaplama	U değeri. W/m2. K
Plastik Doğrama	Tek Camlı Plastik Doğrama Pencere	5,20	Çift Cam Plastik Doğrama 9 mm Kaplama	2,40	Çift Cam Plastik Doğrama 9 mm kaplamasız	3,10	Çift Cam Plastik Doğrama 12 mm Kaplama	2,20	Çift Cam Plastik Doğrama 12 mm Kaplama	3,00	Çift Cam Plastik Doğrama 16 mm Kaplama Konfor	2,00	Çift Cam Plastik Doğrama 16 mm Kaplama	2,90
Alüminyum Doğrama	Tek Camlı Alüminyu m Doğrama Pencere	5,90	Alüminyu m Doğrama Çift Cam 9 mm Kaplama	3,10	Alüminyu m Doğrama Çift Cam 9 mm Kaplama	3,80	Alüminyu m Doğrama Çift Cam 12 mm Kaplama	2,90	Alüminyu m Doğrama Çift Cam 12 mm Kaplama	3,70	Alüminyu m Doğrama Çift Cam 16 mm Kaplama Konfor	2,70	Alüminyu m Doğrama Çift Cam 16 mm Kaplama	3,60
Ahşap Doğrama	Tek Camlı Ahşap S. Doğrama Pencere	5,10	Çift Cam Ahşap S. Doğrama 9 mm Kaplama	2,30	Çift Cam Ahşap S. Doğrama 9 mm Kaplama	3,10	Çift Cam Ahşap S. Doğrama 12 mm Kaplama	2,10	Çift Cam Ahşap S. Doğrama 12 mm Kaplama	3,00	Çift Cam Ahşap S. Doğrama 16 mm Kaplama Konfor	2,00	Çift Cam Ahşap S. Doğrama 16 mm Kaplama	2,80

U değeri yapı bölümleri olarak bakıldığında farklı malzeme katmanlarının bir araya gelmesiyle birlikte meydana gelen yapı bölümü elemanının 1 m²'sinden birim zamanda geçen ısı miktarıdır. U değerinin düşük olması iç mekanda ısı alışverişi o kadar az olacağını göstermektedir. Yalıtım malzemelerinin de amacı Yapı elemanının U değerini düşürmektir. Bunu yaparken de TS 825 üzerinden hesaplamalar yapılmaktadır. Mekan içerisinde oluşan havalandırma ve termal rahatsızlık için araştırmalar sinirsel bulanık yardımıyla sonuçlanmasında U değerinin önemi ortaya çıkmaktadır.

TS 825 standardında belirtilen kurallara ve formüllere göre elde edilen çıktılar;

- 1- Isı kaybı
- 2- Özgül ısı kaybı
- 3- İç ısı kazancı
- 4- Toplam kazanç
- 5- Kayıp Kazanç Oranı
- 6- Aylık ısıtma enerjisi

3.3 Kuralların Oluşturulması

Verilerin girdi olarak hazırlanması ve sözel verilerin sayısallaştırılması sonucunda giriş verilerinin işlenebilmesi için kuralların Çizelge 3.6'da olduğu gibi belirtilmesi gerekir. Kural sayısı ne kadar fazla ise sonuçlar o kadar doğru ve gerçeğe yakın olmaktadır. Kuralları belirledikten sonra yazılım probleme ait modeli oluşturmuş olmaktadır. Bu kurallar gerektiğinde değiştirilebilir, takibi yapılabilir, sistem işlerken yeni kurallar eklenebilir özelliktedir.

Kural kümesi denklemini: Eğer $x = A_1$ ve $y = B_1$ ise $f_1 = p_1 \times x + q_1 \times y + r_1$

Çizelge 3.6. Kural örneği

No	Kural
1	Eğer (Sıcaklık is düşük) ve (Pencere U değeri is düşük) ve (Havalandırma is açık) ve (Gölgelendirme is var) and (Binanın Yönü is güney) ve (Pencerenin Duvara Oranı is küçük) ise (Yıllık Enerji İhtiyacı is az)
2	Eğer (Sıcaklık is düşük) ve (Pencere U değeri is düşük) ve (Havalandırma is açık) ve (Gölgelendirme is var) ve (Binanın Yönü is güney) ve (Pencerenin Duvara Oranı is orta) ise (Yıllık Enerji İhtiyacı is orta)
3	Eğer (Sıcaklık is düşük) ve (Pencere U değeri is düşük) ve (Havalandırma is açık) ve (Gölgelendirme is var) ve (Binanın Yönü is güney) ve (Pencerenin Duvara Oranı is büyük) ise (Yıllık Enerji İhtiyacı is çok)
4	Eğer (Sıcaklık is düşük) ve (Pencere U değeri is düşük) ve (Havalandırma is açık) ve (Gölgelendirme is var) ve (Binanın Yönü is kuzey) ve (Pencerenin Duvara Oranı is küçük) ve (Yıllık Enerji İhtiyacı is çok)

4. BULGULAR

Literatürde elde edilen pasif ev parametreleri ile enerji verimliliği sağlayan parametreler bir araya getirilerek ilk aşamada yapay zeka kullanımı için girdi oluşturulmaktadır. Elde edilen veriler MATLAB yazılım programı içerisinde sinirsel bulanık mantık yöntemi ile Takagi-Sugeno bulanık çıkarım sistemine dayalı bir tür yapay sinir ağı yöntemi olan uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) içinde kullanılmaktadır. Bu kapsamda verilen hazırlanması, eğitilmesi, kuralların oluşturulması ve çıktı elde edilebilmesi süreçleri bulunmaktadır.

4.1 Verilerin hazırlanması

Sinirsel bulanık mantık yöntemi için öncelikle girdilerin literatürde araştırılarak belirlenmesi üzerine excel içerisinde bir veri tabanı oluşturulmaktadır. Burada veriler pencerenin duvara oranının belirlenebilmesi ve yıllık enerji ihtiyacının belirlenebilmesi için bina içerisinde tasarıma etkisi olan tüm parametreleri içermektedir. Literatüre göre tasarıma ve yıllık enerji mihtiyacı miktarına aşağıdaki kriterlerin etkilendiği belirlenmiştir;

- Sıcaklık değeri
- Yalıtım ısıl geçirgenlik katsayısı (U değeri)
- Mekanda havalandırma olup olmaması
- Cephede gölgelendirme olup olmaması
- Binanın yönlendirilmesi (Güney / Kuzey / Doğu / Batı)
- Pencerenin duvara oranı

Girdi olarak belirlenmeden önce bu kriterlerin çıktısının pencerenin duvara oranı veya yıllık enerji ihtiyacı miktarı olması yönünde de ANFIS ile teste tabi tutulacağından girdiler Çizelge 4.1’de belirtilen iki şekilde değerlendirilecektir.

Çizelge 4.1. Deneme yapılacak girdilerin test edilmeden önce gruplandırılması

1. Grup test girdileri	2. Grup test girdileri
1) Sıcaklık değeri	1) Sıcaklık değeri
2) Yalıtım ısıl geçirgenlik katsayısı (U değeri)	2) Yalıtım ısıl geçirgenlik katsayısı (U değeri)
3) Mekanda havalandırma olup olmaması	3) Mekanda havalandırma olup olmaması
4) Cephede gölgelendirme olup olmaması	4) Cephede gölgelendirme olup olmaması
5) Binanın yönlendirilmesi (Güney / Kuzey / Doğu / Batı)	5) Binanın yönlendirilmesi (Güney / Kuzey / Doğu / Batı)
6) Pencerenin duvara oranı	6) Yıllık enerji ihtiyacı

Verilerin sayısal karşılığının oluşturulması için öncelikle girdilerin yer aldığı verilerin normalleştirilmiş (normalize) olması gerekmektedir. Toplanan verilerin eğitim ve test olmak üzere iki parça şeklinde hazırlanması için ilk aşamada girdilerin sayısal değerlerinin belirlenmesi yer almaktadır. Girdilerin her biri için kullanılacak değer aralıkları 0 ile 1 arasında lineer transformasyon ile aşağıdaki formüle göre normalleştirilmiştir (Doğan 2016; Zhang vd. 1998). Normalleştirme için uygulanan formüle (5.1) göre sonuçların 0 ile 1 arasında değer verilmesi sağlanmıştır.

$$x_n = \frac{x_0 - x_{min}}{x_{0max} - x_{min}} \quad (4.1)$$

Toplam altı girdi ve bir çıktı olacak şekilde hazırlanan modelde normalize edilmiş girdi verilerinin 176 eğitim ve 44 test olmak üzere toplam 200 adedi Çizelge 4.2'deki gibi hazırlanmaktadır.

Çizelge 4.2. Normalize edilmiş olan verilerin 1. Grup için değerleri

Sıcaklık	Yalıtım	Havalandırma	Gölgelendirme	Yön	PDO	Test/ Eğitim
0,33	1	0	0	0,2	0,28	Eğitim
0,33	1	0	0	0,1	0,56	Eğitim
0,33	1	0	0	0,3	0,39	Eğitim
0,33	1	0	0	0,4	0,33	Eğitim
0,33	1	1	0	0,2	0,28	Eğitim
0,33	1	1	0	0,1	0,44	Eğitim
0,33	1	1	0	0,3	0,39	Eğitim
0,33	1	1	0	0,4	0,33	Eğitim
0,33	1	0	1	0,2	0,22	Eğitim
0,33	1	0	1	0,1	0,28	Eğitim
0,33	1	0	1	0,3	0,22	Eğitim
0,33	1	0	1	0,4	0,22	Eğitim
0,33	1	1	1	0,2	0,22	Eğitim
0,33	1	1	1	0,1	0,17	Eğitim
0,33	1	1	1	0,3	0,17	Eğitim
0,33	1	1	1	0,4	0,17	Eğitim
0,33	0,65	0	0	0,2	0,28	Eğitim
0,33	0,65	0	0	0,1	0,56	Eğitim
0,33	0,65	0	0	0,3	0,33	Eğitim
0,33	0,65	0	0	0,4	0,28	Eğitim
0,33	0,65	1	0	0,2	0,28	Eğitim
0,33	0,65	1	0	0,1	0,33	Eğitim
0,33	0,65	1	0	0,3	0,28	Eğitim
0,33	0,65	1	0	0,4	0,28	Eğitim
0,33	0,65	0	1	0,2	0,22	Eğitim
0,33	0,65	0	1	0,1	0,33	Eğitim
0,33	0,65	0	1	0,3	0,22	Eğitim
0,33	0,65	0	1	0,4	0,22	Eğitim
0,33	0,65	1	1	0,2	0,22	Eğitim
0,33	0,65	1	1	0,1	0,22	Eğitim
0,33	0,65	1	1	0,3	0,22	Eğitim
0,33	0,65	1	1	0,4	0,17	Eğitim
0,33	0,02	0	0	0,2	1,00	Eğitim
0,33	0,02	0	0	0,1	1,00	Eğitim
0,33	0,02	0	0	0,3	1,00	Eğitim
0,33	0,02	0	0	0,4	1,00	Eğitim
0,33	0,02	1	0	0,2	0,78	Eğitim
0,33	0,02	1	0	0,1	0,56	Eğitim
0,33	0,02	1	0	0,3	0,56	Eğitim

Çizelge 4.2.'nin devamı

0,33	0,02	1	0	0,4	0,44	Eğitim
0,33	0,02	0	1	0,2	0,56	Eğitim
0,33	0,02	0	1	0,1	0,72	Eğitim
0,33	0,02	0	1	0,3	0,61	Eğitim
0,33	0,02	0	1	0,4	0,61	Eğitim
0,33	0,02	1	1	0,2	0,39	Eğitim
0,33	0,02	1	1	0,1	0,33	Eğitim
0,33	0,02	1	1	0,3	0,33	Eğitim
0,33	0,02	1	1	0,4	0,28	Eğitim
0,83	1	0	0	0,2	0,72	Eğitim
0,83	1	0	0	0,1	0,94	Eğitim
0,83	1	0	0	0,3	0,72	Eğitim
0,83	1	0	0	0,4	0,72	Eğitim
0,83	1	1	0	0,2	0,72	Eğitim
0,83	1	1	0	0,1	0,89	Eğitim
0,83	1	1	0	0,3	0,72	Eğitim
0,83	1	1	0	0,4	0,67	Eğitim
0,83	1	0	1	0,2	0,28	Eğitim
0,83	1	0	1	0,1	0,22	Eğitim
0,83	1	0	1	0,3	0,22	Eğitim
0,83	1	0	1	0,4	0,17	Eğitim
0,83	1	1	1	0,2	0,22	Eğitim
0,83	1	1	1	0,1	0,22	Eğitim
0,83	1	1	1	0,3	0,22	Eğitim
0,83	1	1	1	0,4	0,17	Eğitim
0,83	0,65	0	0	0,2	0,61	Eğitim
0,83	0,65	0	0	0,1	0,89	Eğitim
0,83	0,65	0	0	0,3	0,61	Eğitim
0,83	0,65	0	0	0,4	0,56	Eğitim
0,83	0,65	1	0	0,2	0,56	Eğitim
0,83	0,65	1	0	0,1	0,61	Eğitim
0,83	0,65	1	0	0,3	0,50	Eğitim
0,83	0,65	1	0	0,4	0,44	Eğitim
0,83	0,65	0	1	0,2	0,33	Eğitim
0,83	0,65	0	1	0,1	0,39	Eğitim
0,83	0,65	0	1	0,3	0,28	Eğitim
0,83	0,65	0	1	0,4	0,22	Eğitim
0,83	0,65	1	1	0,2	0,28	Eğitim
0,83	0,65	1	1	0,1	0,28	Eğitim
0,83	0,65	1	1	0,3	0,22	Eğitim
0,83	0,65	1	1	0,4	0,17	Eğitim
0,83	0,02	0	0	0,2	1,00	Eğitim
0,83	0,02	0	0	0,1	1,00	Eğitim
0,83	0,02	0	0	0,3	1,00	Eğitim
0,83	0,02	0	0	0,4	1,00	Eğitim
0,83	0,02	1	0	0,2	1,00	Eğitim
0,83	0,02	1	0	0,1	0,83	Eğitim
0,83	0,02	1	0	0,3	0,78	Eğitim
0,83	0,02	1	0	0,4	0,67	Eğitim
0,83	0,02	0	1	0,2	0,50	Eğitim
0,83	0,02	0	1	0,1	0,44	Eğitim
0,83	0,02	0	1	0,3	0,33	Eğitim
0,83	0,02	0	1	0,4	0,33	Eğitim
0,83	0,02	1	1	0,2	0,33	Eğitim
0,83	0,02	1	1	0,1	0,28	Eğitim
0,83	0,02	1	1	0,3	0,28	Eğitim
0,83	0,02	1	1	0,4	0,22	Eğitim
0,33	0,02	1	1	0,1	0,00	Eğitim
0,33	0,02	1	1	0,1	0,06	Eğitim

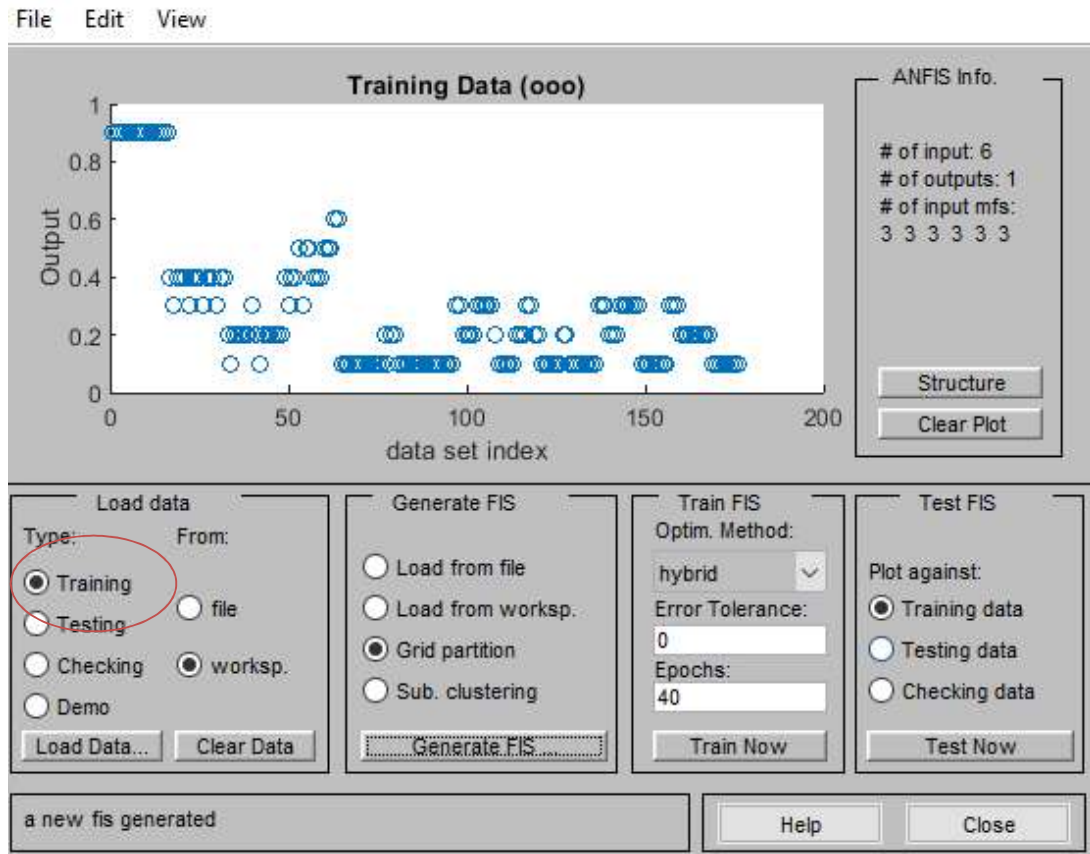
Çizelge 4.2'nin devamı

0,33	0,02	1	1	0,1	0,17	Eğitim
0,33	0,02	1	1	0,1	0,39	Eğitim
0,33	0,02	1	1	0,1	0,50	Eğitim
0,33	0,02	1	1	0,1	0,61	Eğitim
0,33	0,02	1	1	0,1	0,72	Eğitim
0,33	0,02	1	1	0,1	0,83	Eğitim
0,33	0,02	1	1	0,1	0,94	Eğitim
0,33	0,02	1	1	0,1	1,00	Eğitim
0,83	0,02	1	1	0,1	0,00	Eğitim
0,83	0,02	1	1	0,1	0,06	Eğitim
0,83	0,02	1	1	0,1	0,17	Eğitim
0,83	0,02	1	1	0,1	0,39	Eğitim
0,83	0,02	1	1	0,1	0,50	Eğitim
0,83	0,02	1	1	0,1	0,61	Eğitim
0,83	0,02	1	1	0,1	0,72	Eğitim
0,83	0,02	1	1	0,1	0,83	Eğitim
0,83	0,02	1	1	0,1	0,94	Eğitim
0,83	0,02	1	1	0,1	1,00	Eğitim
0,33	0,02	0	0	0,1	0,00	Eğitim
0,33	0,02	0	0	0,1	0,06	Eğitim
0,33	0,02	0	0	0,1	0,17	Eğitim
0,33	0,02	0	0	0,1	0,39	Eğitim
0,33	0,02	0	0	0,1	0,50	Eğitim
0,33	0,02	0	0	0,1	0,61	Eğitim
0,33	0,02	0	0	0,1	0,72	Eğitim
0,33	0,02	0	0	0,1	0,83	Eğitim
0,33	0,02	0	0	0,1	0,94	Eğitim
0,33	0,02	0	0	0,1	1,00	Eğitim
0,83	0,02	0	0	0,1	0,00	Eğitim
0,83	0,02	0	0	0,1	0,06	Eğitim
0,83	0,02	0	1	0,2	0	Test
0,83	0,02	0	1	0,2	0,05	Test
0,83	0,02	0	1	0,2	0,17	Test
0,83	0,02	0	1	0,2	0,27	Test
0,83	0,02	0	1	0,2	0,39	Test
0,83	0,02	0	1	0,2	0,50	Test
0,83	0,02	0	1	0,2	0,61	Test
0,83	0,02	0	1	0,2	0,72	Test
0,83	0,02	0	1	0,2	0,83	Test
0,83	0,02	0	1	0,2	0,94	Test
0,83	0,02	0	1	0,2	1	Test
0,83	0,02	0	1	0,1	0	Test
0,83	0,02	0	1	0,1	0,05	Test
0,83	0,02	0	1	0,1	0,17	Test
0,83	0,02	0	1	0,1	0,27	Test
0,83	0,02	0	1	0,1	0,39	Test
0,83	0,02	0	1	0,1	0,50	Test
0,83	0,02	0	1	0,1	0,61	Test
0,83	0,02	0	1	0,1	0,72	Test
0,83	0,02	0	1	0,1	0,83	Test
0,83	0,02	0	1	0,1	0,94	Test
0,83	0,02	0	1	0,1	1	Test
0,83	0,02	0	1	0,3	0	Test
0,83	0,02	0	1	0,3	0,05	Test
0,83	0,02	0	1	0,3	0,17	Test
0,83	0,02	0	1	0,3	0,27	Test
0,83	0,02	0	1	0,3	0,39	Test
0,83	0,02	0	1	0,3	0,50	Test
0,83	0,02	0	1	0,3	0,61	Test

Çizelge 4.2.'nin devamı

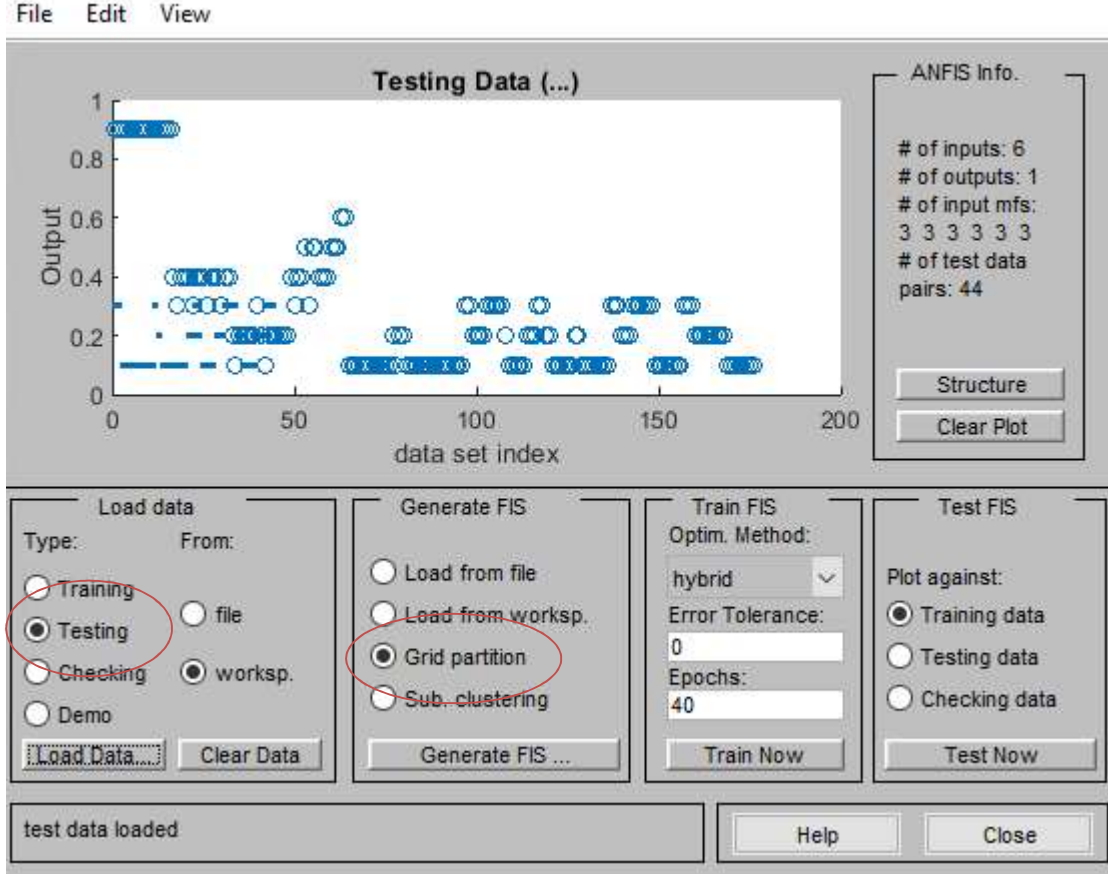
0.83	0.02	0	1	0.3	0.72	Test
0.83	0.02	0	1	0.3	0.83	Test
0.83	0.02	0	1	0.3	0.94	Test
0.83	0.02	0	1	0.3	1	Test
0.83	0.02	0	1	0.4	0	Test
0.83	0.02	0	1	0.4	0.05	Test
0.83	0.02	0	1	0.4	0.17	Test
0.83	0.02	0	1	0.4	0.27	Test
0.83	0.02	0	1	0.4	0.39	Test
0.83	0.02	0	1	0.4	0.50	Test
0.83	0.02	0	1	0.4	0.61	Test
0.83	0.02	0	1	0.4	0.72	Test
0.83	0.02	0	1	0.4	0.83	Test
0.83	0.02	0	1	0.4	0.94	Test
0.83	0.02	0	1	0.4	1	Test

ANFIS editörü içerisine eğitim ve test verilerinin yüklenmesi ile eğitim başlamadan önce Grid yayılımı komutu ile üyelik fonksiyonunun belirlenmesi gerekmektedir. Denemeler yapılarak her bir girdi için 3'er üyelik fonksiyonu yapılması uygun bulunmaktadır (of input mfs: 3 3 3 3 3 3).



Şekil 4.1. ANFIS eğitim verileri yüklemesi sonrası oluşan grafik

Çizelge 4.2’de hazırlanan eğitim verilerinin ANFIS içerisine alındığında Şekil 4.1’de elde edilen grafikte 176 adet eğitimin dağılımı ve Şekil 4.2’de 44 adet test verilerinin dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 4.2. ANFIS test verileri yüklemesi sonrası oluşan grafik

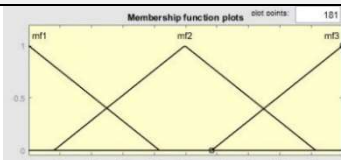
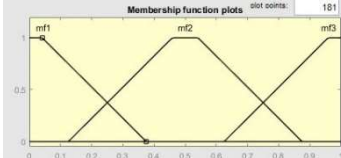
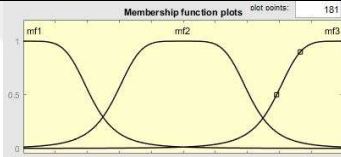
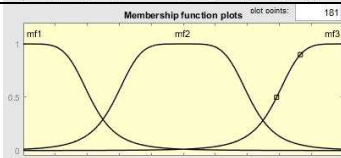
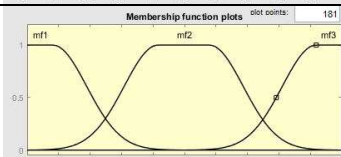
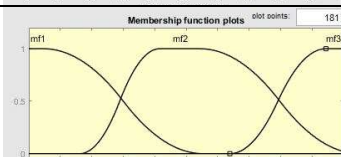
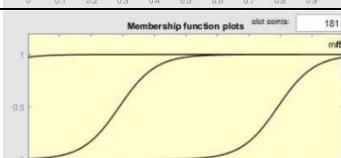
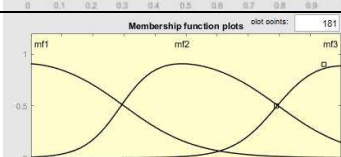
Verilerin eğitilerek hata oranlarına göre hangi üyelik fonksiyonunun en az hatada olması çalışmanın devamında kullanılacak yöntem için önemlidir. Grid yayılımından üyelik fonksiyonlarına yönelik değişimler yapılarak en doğru üyelik fonksiyonun bulunması sağlanabilmesi için sıra ile deneme yapılması sağlanacaktır. Denemelere başlamadan önce Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de görseldeki ekran görüntüsünde yer alan “error tolerance” alanına 0 yazılması ve “epochs” alanına 40 çevrim eğitim yapılacağından sayının girilmesi ile teste başlama aşamasına geçilmektedir.

4.2 Modele ait teste başlanması

Hazırlanan girdilerin ve sayısal değerlerin kullanımı için yapılacak diğer adım üyelik fonksiyonlarını belirlemektir. ANFIS içinde üçgen, yamuk, çan şekilli, gauss, gauss2, pi şekilli, dsigmodial ve psigmodial isimlerine sahip toplam 8 adet üyelik fonksiyonları bulunmaktadır. Bu üyelik fonksiyonlarının grafiğinde çizgi üzerinde yer alan verinin tam bir sonuç alınması veya çizgi üzerinde 0 ile 1 arasında arada bulanık değere sahip olması gibi nedenlerden dolayı üyelik fonksiyonlarında kullanım amacına

yönelik farklılıklar olabilmektedir.

Çizelge 4.3. Üyelik fonksiyonları hata değerleri

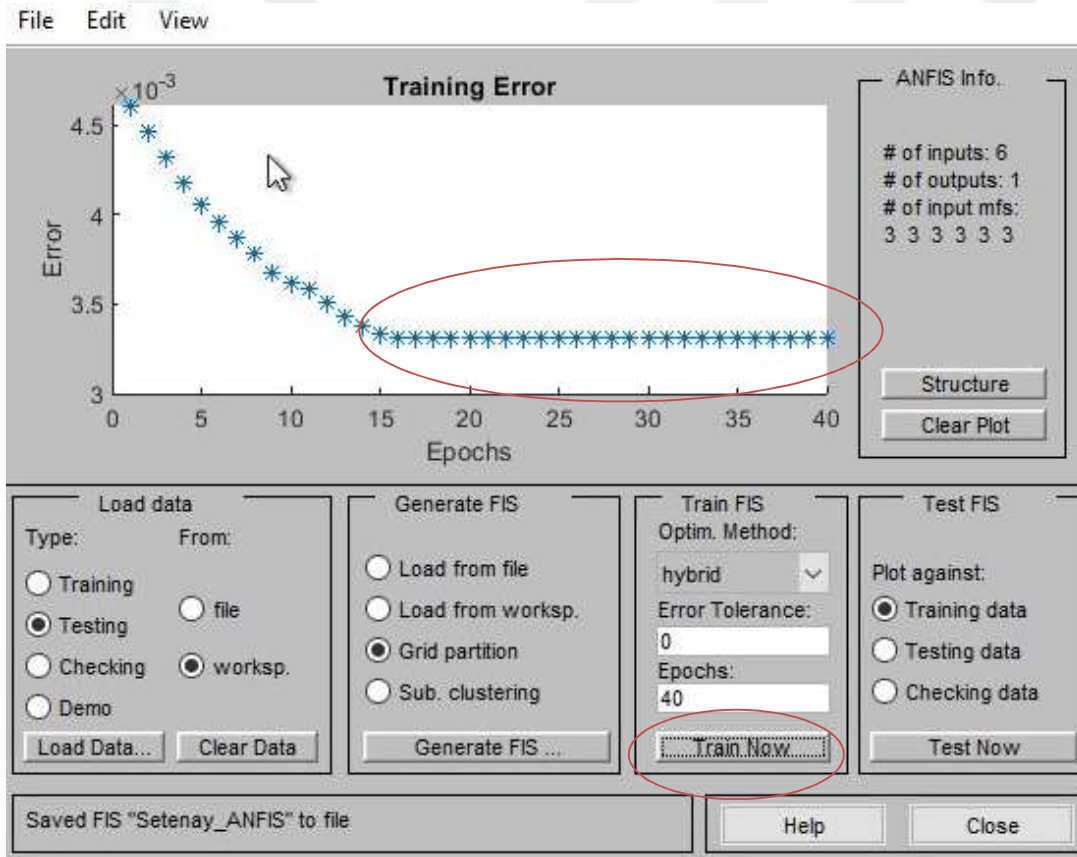
Üyelik fonksiyonu	Fonksiyon kodu	Hata değeri	
	Üçgen Üyelik Fonksiyonu	trimf	0,0036261
	Yamuk Üyelik Fonksiyonu	trapmf	0,0033424
	Çan Şekilli Üyelik Fonksiyonu	gbellmf	0,0033403
	Gauss Üyelik Fonksiyonu(tam simetrik)	gaussmf	0,0034226
	Gauss Üyelik Fonksiyonu	gauss2mf	0,0033174
	Π Üyelik Fonksiyonu	pimf	0,003715
	Sigmoidal Üyelik Fonksiyonu (tam simetrik)	dsigmf	0,0033692
	Sigmoidal Üyelik Fonksiyonu	psigmf	0,0033692

Üyelik fonksiyonlarından en az hata değerine sahip olanı bulmak ve o şekilde ilerleyebilmek için kullanılacak girdilerin fonksiyon çeşitlerine göre eğitilmesi ve

sonuçların karşılaştırılması Çizelge 4.3'te RMSE değerleriyle sağlanmaktadır. Hazırlanan girdiler ve değerlerinin oluşturulacak modelin performans değerlendirme ölçütü olarak MATLAB yazılım programında aşağıdaki formül ile gösterilen (5.2) hata karelerinin ortalamasının kökü (RMSE) değeri kullanılmıştır (Doğan 2016);

$$RMSE = \sqrt{\frac{(p_1 - a_1)^2 + \dots + (p_n - a_n)^2}{n}} \quad (4.2)$$

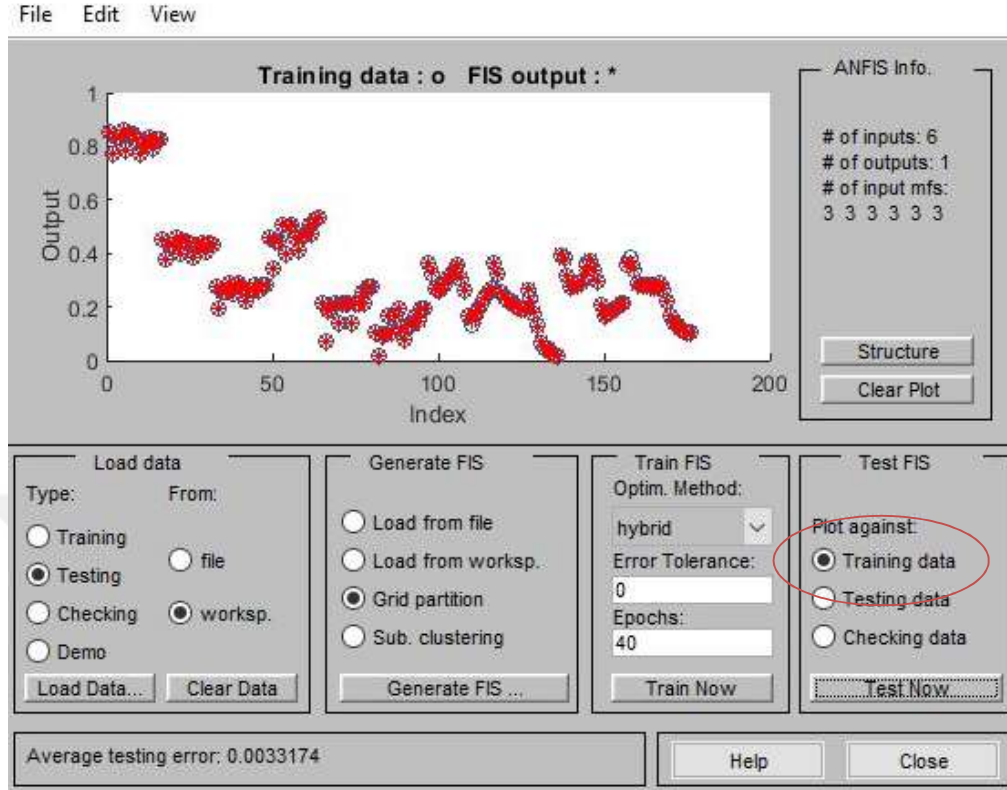
Yapılan karşılaştırma ile içlerinde en az hata oranına sahip gauss2mf model oluşturma sürecinde kullanılacak üyelik fonksiyonu olarak belirlenmiştir. Çizelge 4.3'e göre RMSE değeri 0,0033174 olarak saptanmıştır. Böylece çıktılara ulaşabilmek için Gauss2 üyelik fonksiyonundan devam edilerek eğitilmesi işlemine devam edilmektedir. Gauss2 üyelik fonksiyonu ile Şekil 4.3'teki grafikte gösterildiği üzere hata büyüklüğü 16. çevrim sonunda 0,0033174 seviyesine düşmektedir.



Şekil 4.3. ANFIS hata grafiği

ANFIS içerisinde çevrimiçi eğitim sayısı olarak 40 ve hata toleransı 0 olarak belirlenerek çıktılara hazırlık süreci bu aşamada Şekil 4.4'te gösterilmektedir. Eğitim ve test olarak ayrılan verilerin çıktıların birbirleri arasındaki karşılaştırmasına bakılarak kendi değerleri ile gerçek değerler arasındaki ilişkinin yakın olduğu Şekil 4.4'te yuvarlak mavi çizgiler ile kırmızı yıldız şeklinin bir arada üst üste denk gelmesiyle

gösterilmektedir.



Şekil 4.4. Eğitimde elde edilen çıktı ve tahmini çıktıların karşılaştırılması

Bu durumda gerçek veriler ile sinirsel bulanık ağ ile tahmin ettiği verilerin çıktıları arasındaki uyum ilişkisinin kuvvetli olduğu belirlenmiştir.

4.3 Girdilerin belirlenmesi

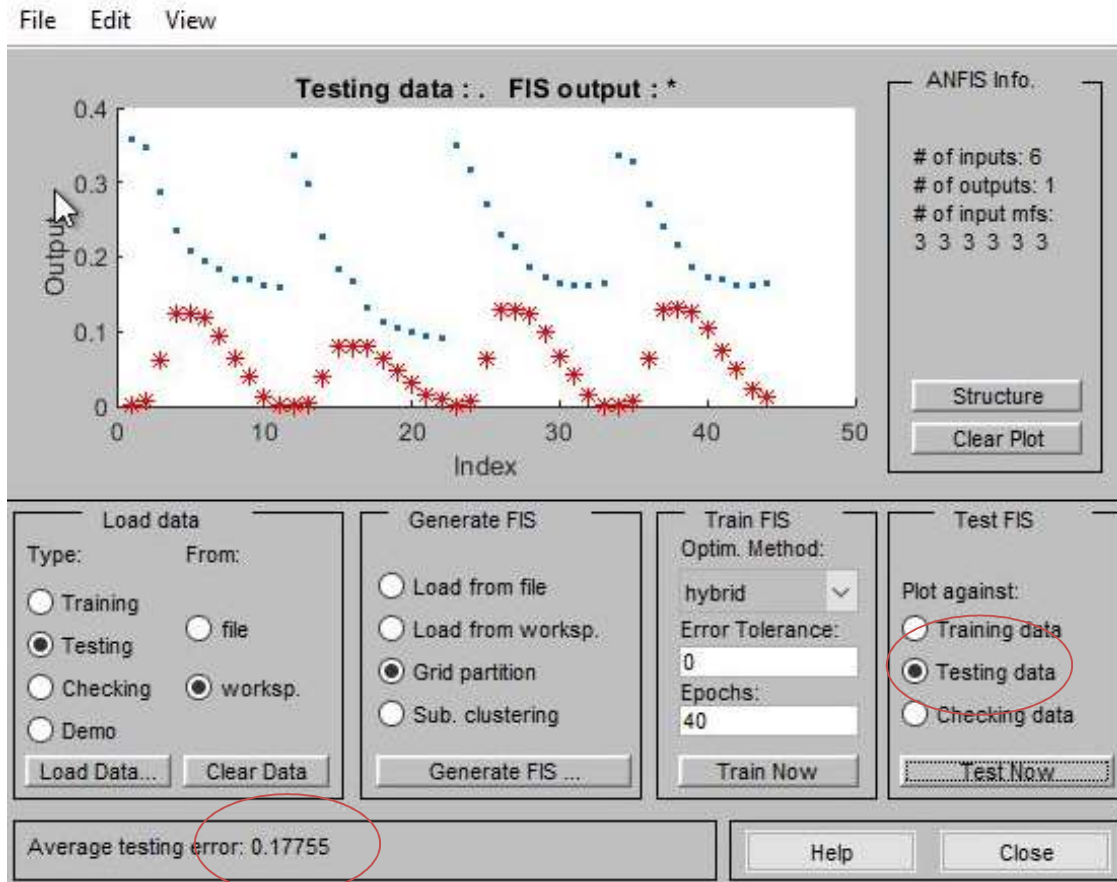
Girdi belirleme konusunda Çizelge 4.1’de bulunan altı farklı girdinin çıktı üzerindeki etkisini ve değişkene en çok etkisini bulabilmek için ANFIS içinde deneme yapılması hedeflenmektedir. Gauss2 üyelik fonksiyonu seçilerek uygulanacak denemede normalize edilen verilerin iki farklı eğitim ve çıktı değerleri hazırlanarak eğitim ve hata değerleri karşılaştırılmaktadır. Çıktı ise bir grupta girdi olarak kullanılırken diğer grupta çıktı olarak kullanılması ile sonuçta hatanın en az değerine sahip olanı bularak o gruptan devam edilmektedir.

Yapılan deneme ile Çizelge 4.4’e göre eğitim ve test hata değerleri karşılaştırılarak model grup 1’in kullanılmasının daha doğru sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Karşılaştırma yapıldığında eğitim RMSE değeri: 0,0033174 ve test RMSE değeri: 0,17755 olan girdilerin seçilmesinin içlerinde hata değeri en düşük olmasından dolayı 1. Grup girdilerinin en uygunu olacağı kararlaştırılmıştır.

Çizelge 4.4. Girdi belirleme tablosu

Grup	Belirlenen altı girdi	Eğitim hata değeri	Test hata değeri
1.Grup girdiler	Sıcaklık/ Yalıtım U değeri / Havalandırma kullanımı / Gölgeleştirme kullanımı / Binanın yönü / Pencere – Duvar oranı (PDO)	0,0033174	0,17755
2.Grup girdiler	Sıcaklık/ Yalıtım U değeri / Havalandırma kullanımı / Gölgeleştirme kullanımı / Binanın yönü / Yıllık enerji ihtiyacı	0,12801	0,45331

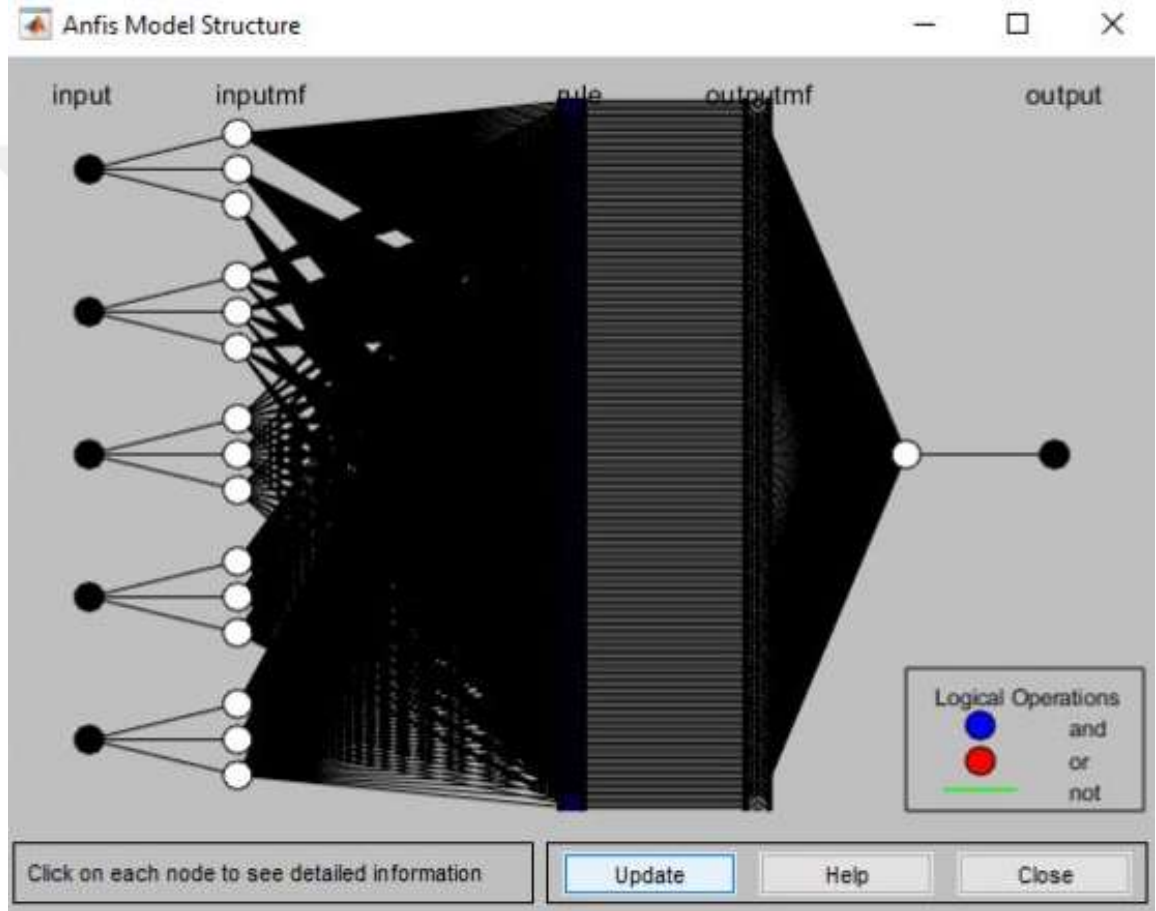
Girdiler belirlenmesi ile test verilerindeki hata değeri Şekil 4.5'te 0,17755 olarak gösterilmektedir.



Şekil 4.5. Test verilerinin grafik gösterimi

4.4 Kuralların oluşturulması

Eğitilen verilerin hata değeri bulunduktan sonra ANFIS ile bazı kurallar üretilmektedir. Bu kurallar girdilerin çıktıya olan etkilerini gösteren sözel ifadelerdir. Eğer / ise ile belirtilen bu ifadelerin elde edilen modelde aralarındaki ilişkiyi de gösteren Şekil 4.6’da ifade edilen ANFIS model strüktürü bulunmaktadır. Toplam 6 girdili tek çıktılı bir model üzerinde 3 farklı aralık belirlenen üyelik fonksiyonları için 3’ün 6.kuvveti kadar farklı kural eklenmiştir. Toplamda $3^6=729$ tane kural modelde oluşturulmaktadır.



Şekil 4.6. ANFIS içinde oluşturulan modelin strüktürü

Her bir çıktı kuralı için sözel değerler ile ifade farklı şekilde belirlenmiştir. Bu değerler düşük-orta-yüksek, az-orta-çok, küçük-orta-büyük gibi isimlendirilmektedir. Bu sözel değerler ile girdiler bir araya geldiğinde çıktının az-orta-çok olarak kuralı oluşmaktadır. 729 adet kural için MATLAB Edit menüsünde Rules seçeneğinde görüntülenmekte ve Çizelge 4.5’te bir kısmı listelenmektedir. Kuralların ilki örnek olarak incelenecek olursa dış ortam koşullarında sıcaklığın düşük olması, yalıtım malzemesi ısı geçişini en az olacak şekilde seçilmesi ile birlikte değerlendirmesini ilk iki girdi olarak

ele almaktadır. Mekanda doğal havalandırmayı alabilmesi için pencerelerin açık kullanılması, cephede gölgelendirme elemanlarının kullanılması, bina yönünün güneğe doğru yapılması ve pencerenin duvara oranı küçük olarak ifade edilmesi çıktı olan yıllık enerji ihtiyacının az olacağı kuralı oluşturulmaktadır.

Çizelge 4.5. ANFIS ile oluşturulan kuralların 23 adet örneği

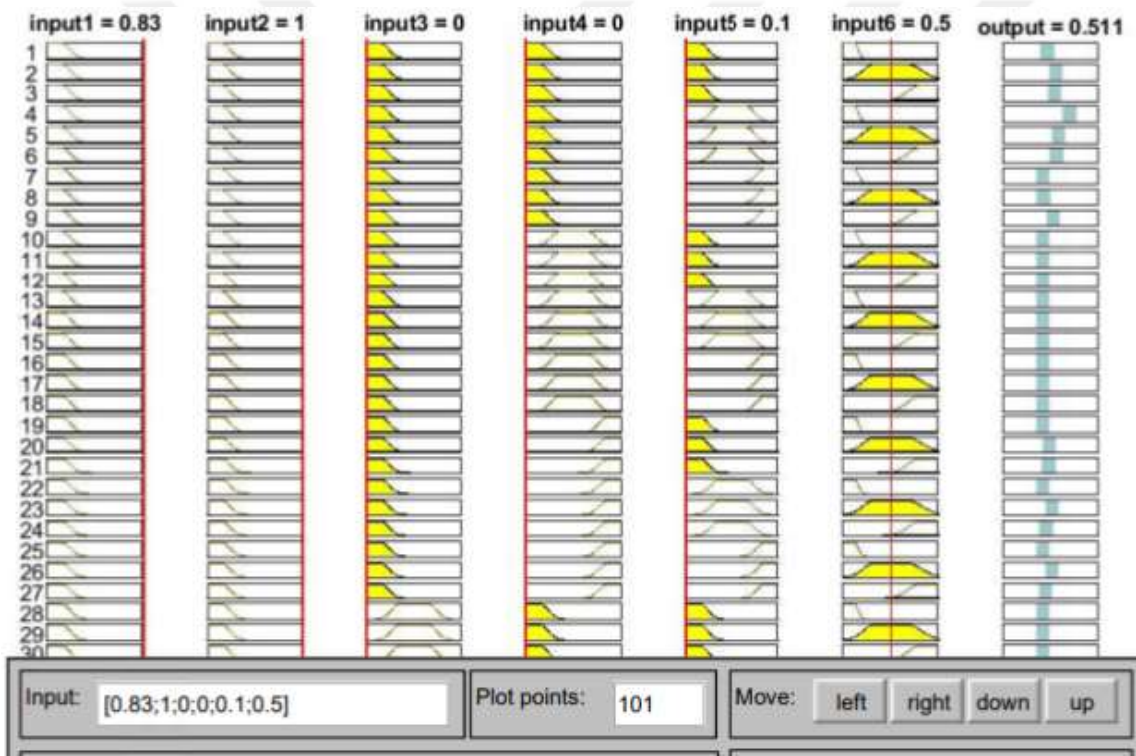
1. If (Sıcaklık is düşük) and (Yalıtım U değeri is düşük) and (Havalandırma is açık) and (Gölgelendirme is var) and (Binanın Yönü is güney) and (Pencerenin Duvara Oranı is küçük) then (Yıllık Enerji İhtiyacı is az) (1)
2. If (Sıcaklık is düşük) and (Yalıtım U değeri is düşük) and (Havalandırma is açık) and (Gölgelendirme is var) and (Binanın Yönü is güney) and (Pencerenin Duvara Oranı is orta) then (Yıllık Enerji İhtiyacı is orta) (1)
3. If (Sıcaklık is düşük) and (Yalıtım U değeri is düşük) and (Havalandırma is açık) and (Gölgelendirme is var) and (Binanın Yönü is güney) and (Pencerenin Duvara Oranı is büyük) then (Yıllık Enerji İhtiyacı is çok) (1)
4. If (Sıcaklık is düşük) and (Yalıtım U değeri is düşük) and (Havalandırma is açık) and (Gölgelendirme is var) and (Binanın Yönü is kuzey) and (Pencerenin Duvara Oranı is küçük) then (Yıllık Enerji İhtiyacı is out1mf4) (1)
5. If (Sıcaklık is düşük) and (Yalıtım U değeri is düşük) and (Havalandırma is açık) and (Gölgelendirme is var) and (Binanın Yönü is kuzey) and (Pencerenin Duvara Oranı is orta) then (Yıllık Enerji İhtiyacı is out1mf5) (1)
6. If (Sıcaklık is düşük) and (Yalıtım U değeri is düşük) and (Havalandırma is açık) and (Gölgelendirme is var) and (Binanın Yönü is kuzey) and (Pencerenin Duvara Oranı is büyük) then (Yıllık Enerji İhtiyacı is out1mf6) (1)
7. If (Sıcaklık is düşük) and (Yalıtım U değeri is düşük) and (Havalandırma is açık) and (Gölgelendirme is var) and (Binanın Yönü is doğu) and (Pencerenin Duvara Oranı is küçük) then (Yıllık Enerji İhtiyacı is out1mf7) (1)
8. If (Sıcaklık is düşük) and (Yalıtım U değeri is düşük) and (Havalandırma is açık) and (Gölgelendirme is var) and (Binanın Yönü is doğu) and (Pencerenin Duvara Oranı is orta) then (Yıllık Enerji İhtiyacı is out1mf8) (1)
9. If (Sıcaklık is düşük) and (Yalıtım U değeri is düşük) and (Havalandırma is açık) and (Gölgelendirme is var) and (Binanın Yönü is doğu) and (Pencerenin Duvara Oranı is büyük) then (Yıllık Enerji İhtiyacı is out1mf9) (1)
10. If (Sıcaklık is düşük) and (Yalıtım U değeri is düşük) and (Havalandırma is açık) and (Gölgelendirme is yarı açık) and (Binanın Yönü is güney) and (Pencerenin Duvara Oranı is küçük) then (Yıllık Enerji İhtiyacı is az0) (1)
11. If (Sıcaklık is düşük) and (Yalıtım U değeri is düşük) and (Havalandırma is açık) and (Gölgelendirme is yarı açık) and (Binanın Yönü is güney) and (Pencerenin Duvara Oranı is orta) then (Yıllık Enerji İhtiyacı is az1) (1)

Çizelge 4.5.'in devamı

12. If (Sıcaklık is düşük) and (Yalıtım U değeri is düşük) and (Havalandırma is açık) and (Gölgelendirme is yarı açık) and (Binanın Yönü is güney) and (Pencerenin Duvara Oranı is büyük) then (Yıllık Enerji İhtiyacı is az2) (1)
13. If (Sıcaklık is düşük) and (Yalıtım U değeri is düşük) and (Havalandırma is açık) and (Gölgelendirme is yarı açık) and (Binanın Yönü is kuzey) and (Pencerenin Duvara Oranı is küçük) then (Yıllık Enerji İhtiyacı is az3) (1)
14. If (Sıcaklık is düşük) and (Yalıtım U değeri is düşük) and (Havalandırma is açık) and (Gölgelendirme is yarı açık) and (Binanın Yönü is kuzey) and (Pencerenin Duvara Oranı is orta) then (Yıllık Enerji İhtiyacı is az4) (1)
15. If (Sıcaklık is düşük) and (Yalıtım U değeri is düşük) and (Havalandırma is açık) and (Gölgelendirme is yarı açık) and (Binanın Yönü is kuzey) and (Pencerenin Duvara Oranı is büyük) then (Yıllık Enerji İhtiyacı is az5) (1)
16. If (Sıcaklık is düşük) and (Yalıtım U değeri is düşük) and (Havalandırma is açık) and (Gölgelendirme is yarı açık) and (Binanın Yönü is doğu) and (Pencerenin Duvara Oranı is küçük) then (Yıllık Enerji İhtiyacı is az6) (1)
17. If (Sıcaklık is düşük) and (Yalıtım U değeri is düşük) and (Havalandırma is açık) and (Gölgelendirme is yarı açık) and (Binanın Yönü is doğu) and (Pencerenin Duvara Oranı is orta) then (Yıllık Enerji İhtiyacı is az7) (1)
18. If (Sıcaklık is düşük) and (Yalıtım U değeri is düşük) and (Havalandırma is açık) and (Gölgelendirme is yarı açık) and (Binanın Yönü is doğu) and (Pencerenin Duvara Oranı is büyük) then (Yıllık Enerji İhtiyacı is az8) (1)
19. If (Sıcaklık is düşük) and (Yalıtım U değeri is düşük) and (Havalandırma is açık) and (Gölgelendirme is yok) and (Binanın Yönü is güney) and (Pencerenin Duvara Oranı is küçük) then (Yıllık Enerji İhtiyacı is az9) (1)
20. If (Sıcaklık is düşük) and (Yalıtım U değeri is düşük) and (Havalandırma is açık) and (Gölgelendirme is yok) and (Binanın Yönü is güney) and (Pencerenin Duvara Oranı is orta) then (Yıllık Enerji İhtiyacı is orta0) (1)
21. If (Sıcaklık is düşük) and (Yalıtım U değeri is düşük) and (Havalandırma is açık) and (Gölgelendirme is yok) and (Binanın Yönü is güney) and (Pencerenin Duvara Oranı is büyük) then (Yıllık Enerji İhtiyacı is orta1) (1)
22. If (Sıcaklık is düşük) and (Yalıtım U değeri is düşük) and (Havalandırma is açık) and (Gölgelendirme is yok) and (Binanın Yönü is kuzey) and (Pencerenin Duvara Oranı is küçük) then (Yıllık Enerji İhtiyacı is orta2) (1)
.....
729. If (Sıcaklık is yüksek) and (Yalıtım U değeri is yüksek) and (Havalandırma is kapalı) and (Gölgelendirme is yok) and (Binanın Yönü is doğu) and (Pencerenin Duvara Oranı is büyük) then (Yıllık Enerji İhtiyacı is yüksek) (1)

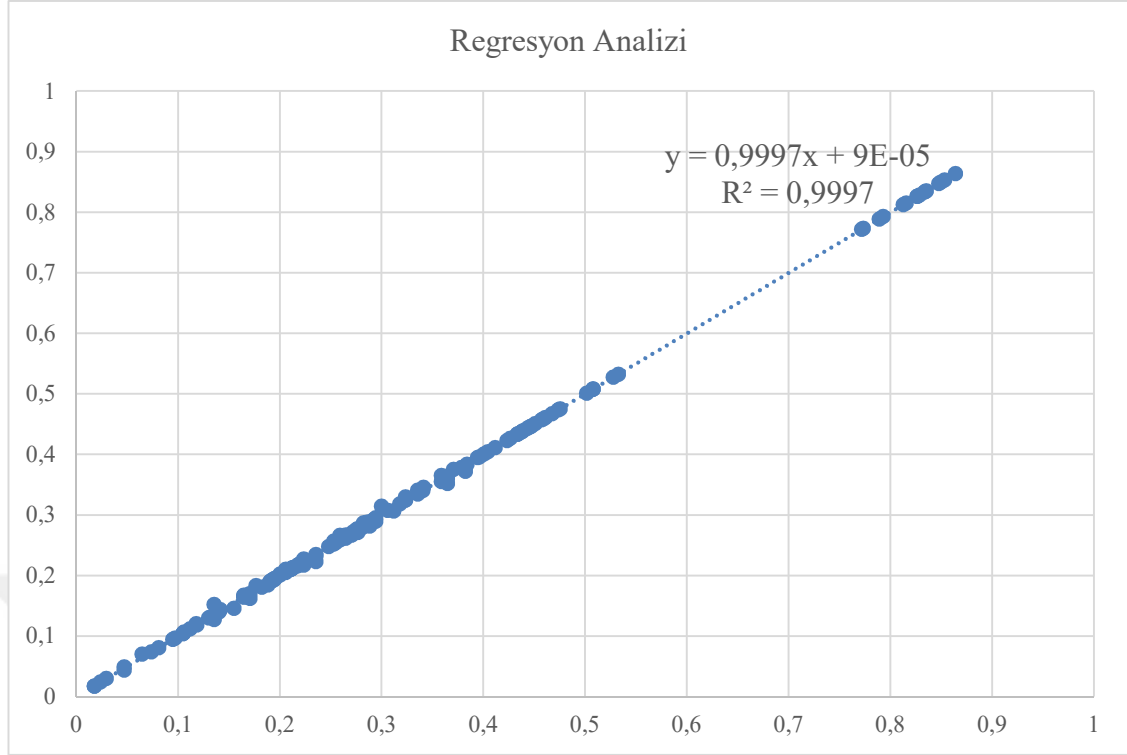
4.5 Modelin Çıktılarının Yorumlanması

Kuralların oluşmasıyla çıktı değeri ANFIS ile ulaşılabilir hale gelmektedir. Elde edilen sonuçlara ulaşabilmek için kuralların oluşmasından sonra ANFIS penceresinden Wiew sekmesi Rules ile girdiler ve çıktının bulunduğu pencereden sinirsel bulnık mantık yönemi ile elde edilen sonuçlara ulaşılabilir hale gelmektedir. Bu sonuçlar yapay zeka sayesinde oluşan tahmini sonuçlardır. Açılan pencere Şekil 4.7’de olduğu gibi 6 girdi ve 1 çıktı şeklinde sütunlara sahiptir. Burada kırmızı ile işaretli bölüme girdilerin sayısal normalize edilmiş değerleri girdiğimizde çıktının normalize edilmiş sayısal verisi elde edilmektedir. Örneğin Şekil 4.7’ye göre; ilk girdi sıcaklık 0,83 (sıcak), ikinci girdi 1 (yalıtım U değeri yüksek), üçüncü girdi 0 (havalandırma açık), dördüncü girdi 0 (gölgelendirme elemanı var), beşinci girdi 0,1 (bina yönü güney) ve altıncı girdi 0,5 (pencere duvar oranı %50)’dir. Bu durumda çıktı değeri (yıllık enerji ihtiyacı) 0,511 olduğu saptanmıştır. Bunun gibi girdi değişkenleri bazıları sabit tutularak ve bazıları değiştirilerek sonuçtan elde edilecek veriler yıllık enerji ihtiyacını belirtecektir.



Şekil 4.7. ANFIS ile altı girdili bir çıktılı model sonuçları

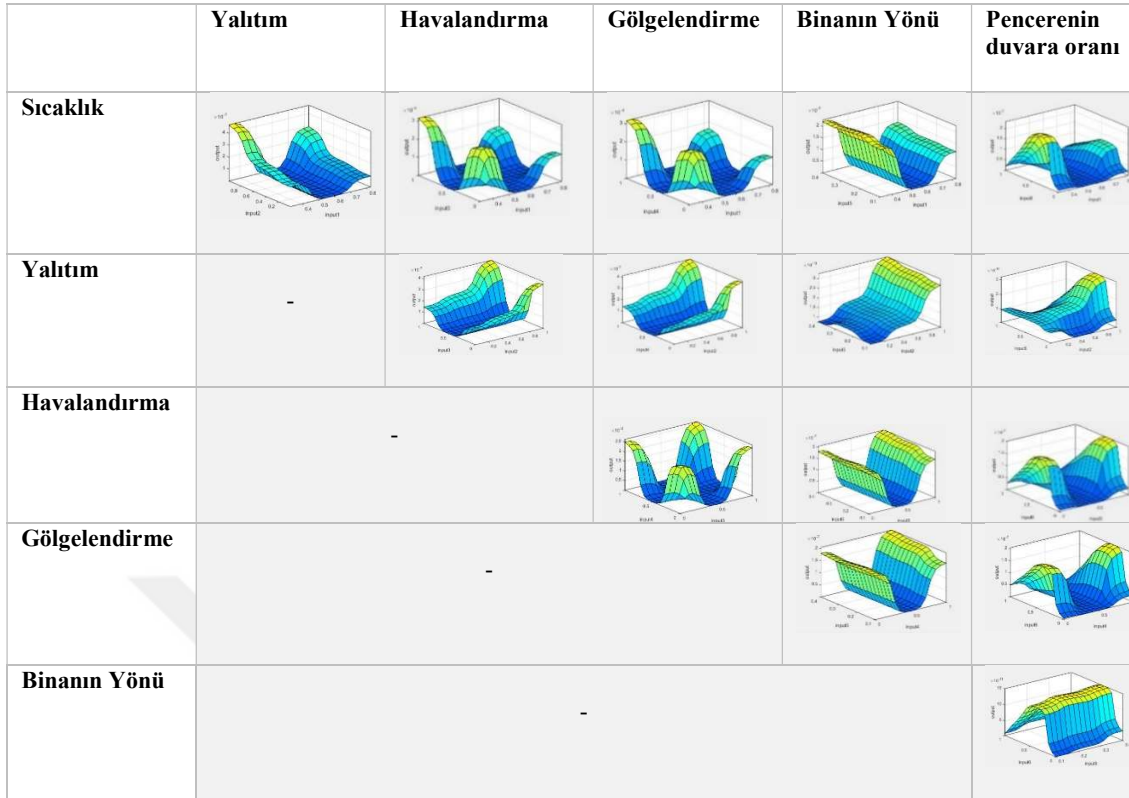
ANFIS ile eğitim sırasında verilen gerçek değerlerin çıkan sonuçlarla karşılaştırma yapılması için öncelikle MATLAB içerisinde yazılım alanına “evalfis” komutu kullanarak liste halinde sonuçların alınması gerekmektedir. Bu sonuçları gerçek sonuçlar olan excel tablosuna birarada konulduğunda karşılaştırma ve aralarındaki ilişkilerin yakınlığını görebilmek için regresyon analizi yapılmıştır.



Şekil 4.8. Gerçek değerler ve ANFIS tarafından tahmin edilen değerlerin dağılımı

Regresyon analizine göre değişkenler arasındaki ilişkinin varlığını ve gücü hakkında bilgi vermek için yapılan analizdir. Elde edilen sonuca göre Şekil 4.8’de gösterilen grafikte R^2 değerinin 0,9997 olduğu saptanmıştır. R^2 değerinin yüksek olması regresyon model uyumunun iyi olduğunu göstermektedir. Bu da gerçek girdiler ile ANFIS girdiler arasındaki uyumun çok iyi olduğunu göstermektedir.

Girdilerinde kendi aralarında çıktıya olan etkilerini gösteren ANFIS Rule Viewer penceresinde View sekmesinde Surface ile bulunan 3 boyutlu grafiklerde girdilerin uyumu ve çıktıya olan etkilerini göstermektedir. Şekil 4.9’da ANFIS sisteminde kullanılan herhangi 2 girdinin çıktı ile olan bağlantılarını gösteren 3 boyutlu grafikler oluşturulmuştur.



Şekil 4.9. İki girdinin çıktı ile olan bağlantılarını gösteren 3 boyutlu grafikler

Grafiklerden çıkarılan bulgular;

- Sıcaklık çok düştüğü zaman ve çok arttığı zaman çıktıya etkisi çok fazla olmakta ancak sıcaklığın orta olduğu zamanlar çıktıya etkisi azalmaktadır.
- Yalıtım malzemesinin ısıl geçirgenlik değerine göre yalıtım kötü veya yalıtımsızsa çıktıya olan etkisi çok fazla ancak yalıtım malzemesi iyi kullanıldığında çıktıya etkisi yarı yarıya etkilemektedir. Yalıtımın U değerinin orta olması ile iyi olması arasında fazla fark görülmemektedir.
- Doğal havalandırmanın açık olması veya kapalı olması arasında fazla fark görülmese de açık olması kapalı olmasından daha fazla enerji ihtiyacını oluşturmaktadır.
- Cephe gölgelendirme elemanının olması ve olmaması arasında enerji miktarını etkileyen fazla değişim yoktur, ancak gölgelendirme olması enerji ihtiyacını gölgelendirme olmamasına göre daha fazla arttırmaktadır.
- Bina yönü enerji miktarı değişiminde güney, kuzey, doğu ve batı arasında fazla fark bulunmamaktadır. Ancak rakamsal bakıldığında kuzeye yönelen binanın daha fazla enerji ihtiyacı, güneye yönelen binanın daha az enerji ihtiyacı olduğu saptanmıştır.
- Bina cephesi üzerinde pencerelerin bulunduğu alan ile duvarın oranı olan PDO olarak isimlendirilen pencere duvar oranı %20-30-40-50-60 olduğu aralıklarda daha fazla enerji ihtiyacına neden olmaktadır. En az enerji ihtiyacı %10 pencere oranının olması daha sonra %90 pencere oranı olması grafikten çıkarılan bulgulardandır.

- Sıcaklık değeri ile birlikte diğer girdiler yıllık enerji ihtiyacını düşürmektedir. Sıcaklık girdisi kullanılacak enerji miktarını etkileyen önemli bir girdidir.
- İkinci en önemli girdi ise yalıttır. Özellikle gölgelendirme ve havalandırma girdileri ile birlikte çıktıya önemli miktarda etkisi olmaktadır.
- Havalandırma ve gölgelendirme girdilerinin çıktıya etkisi fazla değildir. Bir miktar değişim sağlamaktadır ancak yalıtım ve sıcaklık girdileri kadar etkili değişimler değildir.

Bu durumda her bir girdinin etki değerleri grafikler üzerinden anlaşılrsa da sayısal sonuçlar elde etmek için bazı değerlerin sabit tutularak değişken girdiler üzerinden etkileri incelemek gerekmektedir. Çizelge 4.6 – 4.13 arası hazırlanan tablolarda yalıtım malzemesinin kötüden iyi yalıttıma sıralanması bulunmaktadır. Kendi içlerinde U değerleri birbirine yakın olanlar bir grup olan tabloda toplam 6 adet grup yalıtım malzemesi bulunmaktadır. Binada pencere duvar oranlarının ve binanın yönünün bulunduğu tabloda elde edilecek veriler 8 farklı şekilde uygulanmaktadır.

1. Sıcak hava koşullarında havalandırmanın mevcut olması ve gölgelendirmenin kullanılması ile yıllık enerji ihtiyacına etkisinin ölçülmesi
2. Sıcak hava koşullarında havalandırmanın olmaması ve gölgelendirmenin kullanılması ile yıllık enerji ihtiyacına etkisinin ölçülmesi
3. Sıcak hava koşullarında havalandırmanın mevcut olması ve gölgelendirmenin kullanılmaması ile yıllık enerji ihtiyacına etkisinin ölçülmesi
4. Sıcak hava koşullarında havalandırmanın ve gölgelendirmenin kullanılmaması ile yıllık enerji ihtiyacına etkisinin ölçülmesi
5. Soğuk hava koşullarında havalandırmanın mevcut olması ve gölgelendirmenin kullanılması ile yıllık enerji ihtiyacına etkisinin ölçülmesi
6. Soğuk hava koşullarında havalandırmanın olmaması ve gölgelendirmenin kullanılması ile yıllık enerji ihtiyacına etkisinin ölçülmesi
7. Soğuk hava koşullarında havalandırmanın mevcut olması ve gölgelendirmenin kullanılmaması ile yıllık enerji ihtiyacına etkisinin ölçülmesi
8. Sıcak hava koşullarında havalandırmanın ve gölgelendirmenin kullanılmaması ile yıllık enerji ihtiyacına etkisinin ölçülmesi

Çizelge 4.6. Sıcak hava koşullarında havalandırmanın mevcut olması ve gölgelendirmenin kullanılması ile yıllık enerji ihtiyacına etkisi

Malzeme adı	Yön	Pencere duvar oranı								
		%10	%20	%30	%40	%50	%60	%70	%80	%90
Isı yalıtım boyası Kerpiç	Güney	0,0258	0,185	0,492	0,505	0,508	0,474	0,426	0,387	0,34
	Kuzey	0,0233	0,168	0,448	0,461	0,472	0,468	0,458	0,453	0,444
	Doğu	0,0222	0,16	0,427	0,44	0,451	0,45	0,444	0,442	0,437
	Batı	0,0229	0,164	0,436	0,447	0,456	0,451	0,442	0,437	0,429
Selüloz vatka	Güney	0,0177	0,127	0,337	0,346	0,339	0,279	0,196	0,128	0,0499
	Kuzey	0,0124	0,0893	0,239	0,247	0,248	0,224	0,19	0,163	0,131
	Doğu	0,0111	0,08	0,215	0,222	0,223	0,203	0,173	0,149	0,12
	Batı	0,0119	0,0848	0,224	0,228	0,222	0,181	0,126	0,0812	0,0305
Hava Boşluğu Genleştirilmiş kil İnce ısı yalıtım katmanı Kil Tuğlası Ponza taşı tuğlası Gözenekli beton	Güney	0,0993	0,137	0,254	0,233	0,204	0,162	0,113	0,0691	0,0217
	Kuzey	0,113	0,133	0,192	0,188	0,179	0,16	0,137	0,118	0,0977
	Doğu	0,104	0,121	0,171	0,168	0,162	0,145	0,124	0,106	0,0877
	Batı	0,0061	0,0434	0,115	0,117	0,115	0,0962	0,0717	0,0521	0,0298
Perlit Vermikülit Kamış Panel Saman yalıtımı	Güney	0,227	0,179	0,2	0,133	0,0711	0,05	0,0448	0,0309	0,0251
	Kuzey	0,268	0,225	0,19	0,167	0,144	0,13	0,121	0,112	0,107
	Doğu	0,249	0,21	0,172	0,155	0,137	0,123	0,112	0,104	0,0978
	Batı	0,000478	0,00313	0,0084	0,009	0,013	0,0283	0,0488	0,0665	0,0869
Foamglas Cam Köpüğü Cam yünü Taş yünü Mantar Yalıtım Ağaç lifli yalıtım levhası Keten Yalıtım Kenevir Yalıtım Koyun yünü ısı yalıtımı Hindistan Cevizi lifi Hidrofil (pamuk) yün	Güney	0,227	0,179	0,199	0,133	0,0704	0,0494	0,0443	0,0305	0,0249
	Kuzey	0,269	0,226	0,19	0,167	0,144	0,13	0,121	0,112	0,107
	Doğu	0,249	0,21	0,172	0,155	0,137	0,123	0,112	0,104	0,0978
	Batı	0,000455	0,00296	0,00796	0,00855	0,0126	0,0281	0,0487	0,0666	0,0871
Genleştirilmiş Polistren Köpük (EPS) Polistren sert köpük(XPS) Poliüretan (PUR) Fenol Köpüğü Vakum Yalıtım Panelleri	Güney	0,227	0,179	0,199	0,133	0,0702	0,0492	0,0441	0,0303	0,0249
	Kuzey	0,269	0,226	0,19	0,167	0,144	0,13	0,121	0,112	0,107
	Doğu	0,249	0,21	0,172	0,155	0,137	0,123	0,112	0,104	0,0977
	Batı	0,000451	0,00293	0,00788	0,00847	0,0125	0,028	0,0487	0,0666	0,0872

Çizelge 4.7. Sıcak hava koşullarında havalandırmanın olmaması ve gölgelendirmenin kullanılması ile yıllık enerji ihtiyacına etkisi

Malzeme adı	Yön	Pencere duvar oranı								
		%10	%20	%30	%40	%50	%60	%70	%80	%90
Isı yalıtım boyası Kerpiç	Güney	0,0225	0,16	0,423	0,432	0,437	0,429	0,415	0,405	0,393
	Kuzey	0,0265	0,189	0,5	0,511	0,519	0,514	0,505	0,5	0,492
	Doğu	0,027	0,192	0,509	0,52	0,527	0,516	0,499	0,487	0,473
	Batı	0,0339	0,241	0,634	0,643	0,634	0,559	0,46	0,38	0,29
Selüloz vatka	Güney	0,00925	0,0658	0,174	0,177	0,175	0,154	0,127	0,105	0,0796
	Kuzey	0,0111	0,0802	0,214	0,221	0,226	0,223	0,217	0,212	0,205
	Doğu	0,0112	0,0805	0,215	0,221	0,226	0,222	0,214	0,208	0,199
	Batı	0,0125	0,0884	0,232	0,235	0,228	0,19	0,141	0,101	0,0567
Hava Boşluğu Genleştirilmiş kil İnce ısı yalıtım katmanı Kil Tuğlası Ponza taşı tuğlası Gözenekli beton	Güney	0,00575	0,041	0,109	0,111	0,111	0,103	0,0923	0,0838	0,074
	Kuzey	0,00845	0,061	0,163	0,169	0,173	0,173	0,17	0,168	0,165
	Doğu	0,00872	0,0629	0,168	0,174	0,178	0,177	0,172	0,169	0,164
	Batı	0,0101	0,0718	0,189	0,193	0,19	0,166	0,135	0,11	0,0814
Perlit Vermikülit Kamış Panel Saman yalıtımı	Güney	0,00327	0,0236	0,0629	0,0651	0,0694	0,0799	0,0932	0,105	0,117
	Kuzey	0,00775	0,0557	0,148	0,153	0,157	0,159	0,161	0,162	0,164
	Doğu	0,00844	0,0606	0,161	0,166	0,17	0,17	0,169	0,169	0,168
	Batı	0,0107	0,0769	0,204	0,209	0,21	0,2	0,184	0,172	0,157
Foamglas Cam Köpüğü Cam yünü Taş yünü Mantar Yalıtım Ağaç lifli yalıtım levhası Keten Yalıtım Kenevir Yalıtım Koyun yünü ısı yalıtımı Hindistan Cevizi lifi Hidrofil (pamuk) yün	Güney	0,00326	0,0235	0,0627	0,0649	0,0692	0,0798	0,0932	0,105	0,118
	Kuzey	0,00774	0,0557	0,148	0,153	0,157	0,159	0,161	0,162	0,164
	Doğu	0,00843	0,0606	0,161	0,166	0,17	0,17	0,169	0,169	0,168
	Batı	0,0107	0,0769	0,204	0,209	0,21	0,2	0,184	0,172	0,158
Genleştirilmiş Polistren Köpük (EPS) Polistren sert köpük(XPS) Poliüretan (PUR) Fenol Köpüğü Vakum Yalıtım Panelleri	Güney	0,00325	0,0235	0,0627	0,0649	0,0691	0,0798	0,0931	0,105	0,118
	Kuzey	0,00774	0,0557	0,148	0,153	0,157	0,159	0,161	0,162	0,164
	Doğu	0,00843	0,0606	0,161	0,166	0,17	0,17	0,169	0,169	0,168
	Batı	0,0107	0,0769	0,204	0,209	0,21	0,2	0,184	0,172	0,158

Çizelge 4.8. Sıcak hava koşullarında havalandırmanın mevcut olması ve gölgelendirmenin kullanılmaması ile yıllık enerji ihtiyacına etkisi

Malzeme adı	Yön	Pencere duvar oranı								
		%10	%20	%30	%40	%50	%60	%70	%80	%90
Isı yalıtım boyası Kerpiç	Güney	0,0521	0,183	0,429	0,431	0,413	0,337	0,24	0,163	0,0772
	Kuzey	0,145	0,255	0,457	0,455	0,434	0,352	0,248	0,167	0,0789
	Doğu	0,176	0,283	0,48	0,479	0,457	0,37	0,262	0,176	0,0831
	Batı	0,38	0,456	0,598	0,6	0,576	0,469	0,334	0,226	0,107
Selüloz vatka	Güney	0,0108	0,0601	0,153	0,154	0,148	0,121	0,0866	0,0589	0,028
	Kuzey	0,0218	0,0896	0,22	0,224	0,219	0,182	0,132	0,091	0,0445
	Doğu	0,0262	0,0939	0,224	0,228	0,223	0,185	0,134	0,0922	0,0451
	Batı	0,0615	0,124	0,241	0,241	0,232	0,189	0,134	0,091	0,0432
Hava Boşluğu Genleştirilmiş kil İnce ısı yalıtım katmanı Kil Tuğlası Ponza taşı tuğlası Gözenekli beton	Güney	0,00552	0,039	0,102	0,103	0,1	0,0822	0,0589	0,0403	0,0194
	Kuzey	0,00811	0,06	0,159	0,163	0,159	0,131	0,0932	0,0629	0,0284
	Doğu	0,00928	0,0619	0,163	0,166	0,161	0,133	0,0948	0,064	0,0289
	Batı	0,0198	0,0711	0,167	0,168	0,162	0,132	0,0943	0,0641	0,0305
Perlit Vermikülit Kamış Panel Saman yalıtımı	Güney	0,00429	0,0305	0,0802	0,0814	0,0791	0,0653	0,047	0,0324	0,0159
	Kuzey	0,00685	0,0479	0,124	0,124	0,119	0,0945	0,0637	0,0394	0,0126
	Doğu	0,00716	0,0501	0,13	0,13	0,124	0,099	0,067	0,0416	0,0138
	Batı	0,0071	0,0498	0,131	0,132	0,128	0,105	0,0749	0,0511	0,0245
Foamglas Cam Köpüğü Cam yünü Taş yünü Mantar Yalıtım Ağaç lifli yalıtım levhası Keten Yalıtım Kenevir Yalıtım Koyun yünü ısı yalıtımı Hindistan Cevizi lifi Hidrofil (pamuk) yün	Güney	0,00428	0,0304	0,0801	0,0813	0,079	0,0652	0,047	0,0324	0,0159
	Kuzey	0,00684	0,0479	0,124	0,124	0,118	0,0943	0,0636	0,0393	0,0126
	Doğu	0,00715	0,05	0,13	0,13	0,124	0,0988	0,0669	0,0415	0,0137
	Batı	0,00705	0,0497	0,13	0,132	0,127	0,105	0,0749	0,0511	0,0245
Genleştirilmiş Polistren Köpük (EPS) Polistren sert köpük(XPS) Poliüretan (PUR) Fenol Köpüğü Vakum Yalıtım Panelleri	Güney	0,00428	0,0304	0,0801	0,0812	0,0789	0,0652	0,047	0,0324	0,0159
	Kuzey	0,00684	0,0479	0,124	0,124	0,118	0,0943	0,0636	0,0393	0,0126
	Doğu	0,00715	0,05	0,13	0,13	0,124	0,0988	0,0668	0,0415	0,0137
	Batı	0,00704	0,0497	0,13	0,132	0,127	0,105	0,0748	0,0511	0,0245

Çizelge 4.9. Sıcak hava koşullarında havalandırmanın ve gölgelendirmenin kullanılmaması ile yıllık enerji ihtiyacına etkisi

Malzeme adı	Yön	Pencere duvar oranı								
		%10	%20	%30	%40	%50	%60	%70	%80	%90
Isı yalıtım boyası Kerpiç	Güney	0,0499	0,206	0,497	0,498	0,478	0,39	0,277	0,188	0,0891
	Kuzey	0,0602	0,224	0,53	0,531	0,51	0,415	0,295	0,2	0,0947
	Doğu	0,099	0,256	0,549	0,55	0,528	0,43	0,305	0,207	0,098
	Batı	0,456	0,518	0,634	0,635	0,608	0,495	0,352	0,238	0,113
Selüloz vatka	Güney	0,0148	0,0899	0,231	0,232	0,223	0,182	0,13	0,0879	0,0419
	Kuzey	0,133	0,181	0,267	0,265	0,251	0,202	0,142	0,0948	0,0444
	Doğu	0,147	0,199	0,293	0,291	0,276	0,222	0,156	0,105	0,049
	Batı	0,18	0,269	0,436	0,437	0,419	0,342	0,243	0,164	0,0781
Hava Boşluğu	Güney	0,112	0,113	0,174	0,177	0,177	0,165	0,149	0,137	0,123
Genleştirilmiş kil	Kuzey	0,199	0,185	0,204	0,202	0,196	0,175	0,148	0,128	0,106
İnce ısı yalıtım katmanı	Doğu	0,195	0,194	0,231	0,229	0,221	0,193	0,159	0,132	0,103
Kil Tuğlası	Batı	0,0771	0,161	0,32	0,321	0,309	0,253	0,18	0,122	0,0582
Ponza taşı tuğlası										
Gözenekli beton										
Perlit	Güney	0,266	0,172	0,145	0,152	0,163	0,184	0,21	0,232	0,256
Vermikülit	Kuzey	0,299	0,212	0,167	0,168	0,171	0,181	0,193	0,202	0,212
Kamış Panel	Doğu	0,274	0,21	0,196	0,196	0,196	0,197	0,197	0,197	0,197
Saman yalıtımı	Batı	-0,0253	0,055	0,207	0,21	0,203	0,167	0,12	0,0817	0,0392
Foamglas Cam Köpüğü	Güney	0,266	0,172	0,145	0,152	0,163	0,184	0,21	0,232	0,256
Cam yünü	Kuzey	0,3	0,212	0,167	0,167	0,17	0,181	0,193	0,202	0,212
Taş yünü	Doğu	0,274	0,21	0,195	0,196	0,196	0,197	0,198	0,198	0,197
Mantar Yalıtım	Batı	-0,0257	0,0546	0,207	0,209	0,203	0,166	0,119	0,0816	0,0391
Ağaç lifli yalıtım levhası										
Keten Yalıtım										
Kenevir Yalıtım										
Koyun yünü ısı yalıtımı										
Hindistan Cevizi lifi										
Hidrofil (pamuk) yün										
Genleştirilmiş Polistren Köpük (EPS)	Güney	0,267	0,172	0,145	0,152	0,163	0,184	0,21	0,232	0,256
Polistren sert köpük(XPS)	Kuzey	0,3	0,212	0,167	0,167	0,17	0,181	0,193	0,202	0,212
Poliüretan (PUR)	Doğu	0,274	0,21	0,195	0,196	0,196	0,197	0,198	0,198	0,197
Fenol Köpüğü	Batı	-0,0258	0,0545	0,206	0,209	0,202	0,166	0,119	0,0815	0,0391
Vakum Yalıtım Panelleri										

Çizelge 4.10. Soğuk hava koşullarında havalandırmanın mevcut olması ve gölgelendirmenin kullanılması ile yıllık enerji ihtiyacına etkisi

Malzeme adı	Yön	Pencere duvar oranı								
		%10	%20	%30	%40	%50	%60	%70	%80	%90
Isı yalıtım boyası Kerpiç	Güney	0,0434	0,309	0,816	0,832	0,815	0,686	0,514	0,375	0,218
	Kuzey	0,0489	0,33	0,846	0,839	0,795	0,639	0,446	0,296	0,135
	Doğu	0,0483	0,326	0,836	0,829	0,785	0,63	0,439	0,289	0,128
	Batı	0,0442	0,313	0,821	0,831	0,805	0,61	0,474	0,324	0,155
Selüloz vatka	Güney	0,0229	0,162	0,427	0,435	0,424	0,352	0,257	0,179	0,0914
	Kuzey	0,028	0,184	0,47	0,465	0,439	0,353	0,246	0,164	0,075
	Doğu	0,0271	0,178	0,455	0,45	0,425	0,341	0,238	0,158	0,0718
	Batı	0,0246	0,172	0,452	0,457	0,442	0,363	0,26	0,178	0,0848
Hava Boşluğu Genleştirilmiş kil İnce ısı yalıtım katmanı Kil Tuğlası Ponza taşı tuğlası Gözenekli beton	Güney	0,141	0,178	0,299	0,3	0,293	0,254	0,205	0,165	0,12
	Kuzey	0,161	0,225	0,327	0,328	0,318	0,277	0,225	0,186	0,144
	Doğu	0,15	0,213	0,31	0,311	0,302	0,261	0,212	0,174	0,134
	Batı	0,0123	0,0862	0,227	0,23	0,228	0,205	0,176	0,155	0,131
Perlit Vermikülit Kamış Panel Saman yalıtımı	Güney	0,328	0,256	0,243	0,236	0,228	0,218	0,209	0,201	0,195
	Kuzey	0,371	0,349	0,273	0,282	0,289	0,286	0,28	0,278	0,275
	Doğu	0,344	0,327	0,252	0,261	0,268	0,265	0,259	0,257	0,255
	Batı	0,00102	0,00715	0,0196	0,0214	0,0318	0,0707	0,124	0,171	0,226
Foamglas Cam Köpüğü Cam yünü Taş yünü Mantar Yalıtım Ağaç lifli yalıtım levhası Keten Yalıtım Kenevir Yalıtım Koyun yünü ısı yalıtımı Hindistan Cevizi lifi Hidrofil (pamuk) yün	Güney	0,329	0,256	0,243	0,236	0,227	0,218	0,209	0,201	0,195
	Kuzey	0,372	0,349	0,272	0,281	0,288	0,286	0,28	0,278	0,276
	Doğu	0,345	0,327	0,251	0,261	0,268	0,265	0,259	0,257	0,255
	Batı	0,000979	0,00683	0,0188	0,0206	0,031	0,0701	0,124	0,171	0,226
Genleştirilmiş Polistren Köpük (EPS) Polistren sert köpük(XPS) Poliüretan (PUR) Fenol Köpüğü Vakum Yalıtım Panelleri	Güney	0,329	0,256	0,243	0,236	0,227	0,218	0,209	0,201	0,195
	Kuzey	0,372	0,349	0,272	0,281	0,288	0,286	0,28	0,278	0,276
	Doğu	0,345	0,327	0,251	0,261	0,268	0,265	0,259	0,257	0,255
	Batı	0,000971	0,00677	0,0186	0,0204	0,0308	0,07	0,124	0,171	0,227

Çizelge 4.11. Soğuk hava koşullarında havalandırmanın olmaması ve gölgelendirmenin kullanılması ile yıllık enerji ihtiyacına etkisi

Malzeme adı	Yön	Pencere duvar oranı								
		%10	%20	%30	%40	%50	%60	%70	%80	%90
Isı yalıtım boyası Kerpiç	Güney	0,0424	0,298	0,782	0,789	0,763	0,626	0,449	0,308	0,15
	Kuzey	0,0502	0,336	0,859	0,85	0,802	0,642	0,445	0,291	0,127
	Doğu	0,0498	0,333	0,853	0,844	0,797	0,638	0,442	0,289	0,126
	Batı	0,0456	0,321	0,84	0,846	0,816	0,668	0,476	0,324	0,154
Selüloz vatka	Güney	0,0225	0,158	0,412	0,416	0,401	0,329	0,235	0,16	0,0767
	Kuzey	0,0262	0,182	0,476	0,479	0,461	0,377	0,269	0,182	0,086
	Doğu	0,0254	0,177	0,462	0,465	0,448	0,367	0,261	0,177	0,0836
	Batı	0,0253	0,178	0,465	0,469	0,452	0,371	0,265	0,18	0,086
Hava Boşluğu Genleştirilmiş kil İnce ısı yalıtım katmanı Kil Tuğlası Ponza taşı tuğlası Gözenekli beton	Güney	0,0166	0,117	0,309	0,313	0,305	0,256	0,191	0,139	0,0798
	Kuzey	0,0184	0,13	0,344	0,35	0,346	0,306	0,252	0,21	0,162
	Doğu	0,018	0,128	0,337	0,343	0,339	0,3	0,247	0,205	0,158
	Batı	0,019	0,134	0,351	0,356	0,345	0,284	0,204	0,14	0,0685
Perlüt Vermikülit Kamış Panel Saman yalıtımı	Güney	0,0134	0,0961	0,256	0,262	0,26	0,227	0,182	0,146	0,104
	Kuzey	0,0136	0,0981	0,263	0,272	0,28	0,284	0,287	0,291	0,294
	Doğu	0,0138	0,0999	0,267	0,276	0,284	0,286	0,286	0,287	0,288
	Batı	0,0152	0,109	0,287	0,292	0,285	0,237	0,172	0,12	0,0612
Foamglas Cam Köpüğü Cam yünü Taş yünü Mantar Yalıtım Ağaç lifli yalıtım levhası Keten Yalıtım Kenevir Yalıtım Koyun yünü ısı yalıtımı Hindistan Cevizi lifi Hidrofil (pamuk) yün	Güney	0,0134	0,096	0,256	0,262	0,26	0,227	0,182	0,146	0,104
	Kuzey	0,0136	0,098	0,262	0,271	0,28	0,284	0,287	0,291	0,295
	Doğu	0,0138	0,0998	0,267	0,276	0,283	0,285	0,286	0,288	0,289
	Batı	0,0152	0,108	0,287	0,292	0,285	0,237	0,172	0,12	0,0611
Genleştirilmiş Polistren Köpük (EPS) Polistren sert köpük(XPS) Poliüretan (PUR) Fenol Köpüğü Vakum Yalıtım Panelleri	Güney	0,0134	0,0959	0,255	0,262	0,26	0,227	0,182	0,146	0,104
	Kuzey	0,0136	0,0979	0,262	0,271	0,28	0,284	0,287	0,291	0,295
	Doğu	0,138	0,0998	0,267	0,276	0,283	0,285	0,286	0,288	0,289
	Batı	0,0152	0,108	0,286	0,292	0,285	0,237	0,172	0,12	0,0611

Çizelge 4.12. Soğuk hava koşullarında havalandırmanın olması ve gölgelendirmenin kullanılmaması ile yıllık enerji ihtiyacına etkisi

Malzeme adı	Yön	Pencere duvar oranı								
		%10	%20	%30	%40	%50	%60	%70	%80	%90
Isı yalıtım boyası Kerpiç	Güney	0,0736	0,315	0,768	0,772	0,743	0,607	0,433	0,294	0,14
	Kuzey	0,0867	0,356	0,862	0,867	0,835	0,682	0,486	0,33	0,157
	Doğu	0,0859	0,352	0,851	0,856	0,824	0,674	0,48	0,326	0,155
	Batı	0,0857	0,351	0,848	0,853	0,82	0,67	0,477	0,324	0,154
Selüloz votka	Güney	0,0446	0,168	0,4	0,403	0,387	0,317	0,226	0,153	0,0729
	Kuzey	0,0485	0,198	0,479	0,482	0,465	0,381	0,272	0,185	0,0881
	Doğu	0,047	0,193	0,467	0,471	0,454	0,372	0,266	0,181	0,0862
	Batı	0,0467	0,192	0,464	0,467	0,449	0,367	0,262	0,178	0,0848
Hava Boşluğu Genleştirilmiş kil İnce ısı yalıtım katmanı Kil Tuğlası Ponza taşı tuğlası Gözenekli beton	Güney	0,0271	0,115	0,281	0,285	0,28	0,246	0,2	0,165	0,125
	Kuzey	0,03	0,14	0,349	0,354	0,346	0,294	0,226	0,172	0,111
	Doğu	0,0293	0,138	0,346	0,351	0,343	0,292	0,224	0,169	0,108
	Batı	0,0297	0,14	0,349	0,354	0,345	0,291	0,22	0,163	0,0992
Perlit Vermikülit Kamış Panel Saman yalıtımı	Güney	0,0105	0,0754	0,202	0,209	0,216	0,218	0,219	0,221	0,222
	Kuzey	0,0141	0,101	0,271	0,278	0,28	0,257	0,224	0,197	0,166
	Doğu	0,0147	0,105	0,28	0,288	0,289	0,263	0,226	0,196	0,161
	Batı	0,015	0,107	0,285	0,293	0,292	0,26	0,217	0,181	0,14
Foamglas Cam Köpüğü Cam yünü Taş yünü Mantar Yalıtım Ağaç lifli yalıtım levhası Keten Yalıtım Kenevir Yalıtım Koyun yünü ısı yalıtımı Hindistan Cevizi lifi Hidrofil (pamuk) yün	Güney	0,0104	0,0752	0,202	0,209	0,215	0,218	0,219	0,221	0,222
	Kuzey	0,0141	0,101	0,27	0,278	0,279	0,256	0,224	0,197	0,167
	Doğu	0,0146	0,105	0,28	0,288	0,289	0,263	0,226	0,196	0,161
	Batı	0,0149	0,107	0,285	0,292	0,291	0,26	0,216	0,181	0,141
Genleştirilmiş Polistren Köpük (EPS) Polistren sert köpük(XPS) Poliüretan (PUR) Fenol Köpüğü Vakum Yalıtım Panelleri	Güney	0,0104	0,0752	0,202	0,209	0,215	0,218	0,219	0,221	0,222
	Kuzey	0,014	0,101	0,27	0,278	0,279	0,256	0,224	0,197	0,167
	Doğu	0,0146	0,105	0,28	0,288	0,288	0,262	0,226	0,196	0,161
	Batı	0,0149	0,107	0,285	0,292	0,291	0,26	0,216	0,181	0,141

Çizelge 4.13. Soğuk hava koşullarında havalandırmanın ve gölgelendirmenin kullanılmaması ile yıllık enerji ihtiyacına etkisi

Malzeme adı	Yön	Pencere duvar oranı								
		%10	%20	%30	%40	%50	%60	%70	%80	%90
Isı yalıtım boyası Kerpiç	Güney	0,831	0,797	0,73	0,731	0,7	0,571	0,405	0,274	0,13
	Kuzey	0,806	0,816	0,833	0,834	0,8	0,652	0,463	0,313	0,149
	Doğu	0,816	0,824	0,836	0,837	0,803	0,654	0,464	0,314	0,149
	Batı	0,882	0,833	0,739	0,739	0,709	0,577	0,41	0,277	0,132
Selüloz vatka	Güney	0,112	0,226	0,437	0,439	0,422	0,344	0,245	0,166	0,079
	Kuzey	0,113	0,24	0,477	0,479	0,46	0,376	0,267	0,181	0,0863
	Doğu	0,15	0,263	0,474	0,476	0,457	0,373	0,265	0,18	0,0856
	Batı	0,493	0,459	0,394	0,395	0,379	0,309	0,219	0,148	0,0704
Hava Boşluğu Genleştirilmiş kil İnce ısı yalıtım katmanı Kil Tuğlası Ponza taşı tuğlası Gözenekli beton	Güney	0,155	0,203	0,333	0,336	0,331	0,296	0,251	0,217	0,179
	Kuzey	0,177	0,233	0,355	0,361	0,355	0,309	0,255	0,22	0,184
	Doğu	0,188	0,243	0,358	0,364	0,357	0,309	0,251	0,212	0,173
	Batı	0,263	0,282	0,316	0,317	0,305	0,249	0,178	0,121	0,0574
Perlit Vermikülit Kamış Panel Saman yalıtımı	Güney	0,332	0,271	0,257	0,263	0,272	0,287	0,306	0,324	0,344
	Kuzey	0,382	0,327	0,264	0,277	0,286	0,283	0,289	0,313	0,349
	Doğu	0,353	0,316	0,277	0,29	0,297	0,286	0,282	0,297	0,323
	Batı	0,0166	0,108	0,281	0,284	0,274	0,225	0,161	0,11	0,0527
Foamglas Cam Köpüğü Cam yünü Taş yünü Mantar Yalıtım Ağaç lifli yalıtım levhası Keten Yalıtım Kenevir Yalıtım Koyun yünü ısı yalıtımı Hindistan Cevizi lifi Hidrofil (pamuk) yün	Güney	0,333	0,271	0,256	0,262	0,271	0,287	0,306	0,323	0,343
	Kuzey	0,382	0,327	0,264	0,277	0,286	0,283	0,29	0,311	0,346
	Doğu	0,354	0,316	0,277	0,29	0,296	0,286	0,282	0,295	0,321
	Batı	0,0155	0,108	0,281	0,284	0,274	0,225	0,161	0,114	0,0578
Genleştirilmiş Polistren Köpük (EPS) Polistren sert köpük(XPS) Poliüretan (PUR) Fenol Köpüğü Vakum Yalıtım Panelleri	Güney	0,333	0,271	0,256	0,262	0,271	0,287	0,306	0,324	0,345
	Kuzey	0,383	0,327	0,264	0,277	0,286	0,283	0,29	0,314	0,35
	Doğu	0,354	0,316	0,277	0,29	0,296	0,286	0,282	0,297	0,324
	Batı	0,0153	0,107	0,281	0,284	0,274	0,225	0,161	0,11	0,0527

Tablolarda sıcak hava koşullarında elde edilen bulgulara göre soğuk hava koşullarına sahip yapılar arasında ısıtma ve soğutma yüküne bağlı olarak enerji ihtiyaçları değişebilmektedir. Ayrıca havalandırmanın olmaması sıcak hava ve soğuk hava koşullarında yıllık enerji ihtiyacını azaltmaktadır.

Sıcak havada enerji ihtiyacının en fazla olduğu koşullar;

- Doğal havalandırma olmaması ve gölgelendirmenin var iken pencere duvar oranı %30-40-50-60 olarak uygulanması
- Yalıtımın malzemesi U değeri en fazla olması
- Batıya yönlendirilen bina
- Doğal havalandırma olmaması ve gölgelendirmenin olmaması durumunda pencere duvar oranının %30-40-50 olarak uygulanması

Sıcak havada enerji ihtiyacının en az olduğu koşullar;

- Sıcak hava
- Doğal havalandırma var ve gölgelendirme var
- Yalıtımın malzemesi U değeri orta ve en az olması
- Batıya yönlendirilen bina
- Pencere duvar oranı %10 olarak uygulanması

Soğuk havada enerji ihtiyacının en fazla olduğu koşullar;

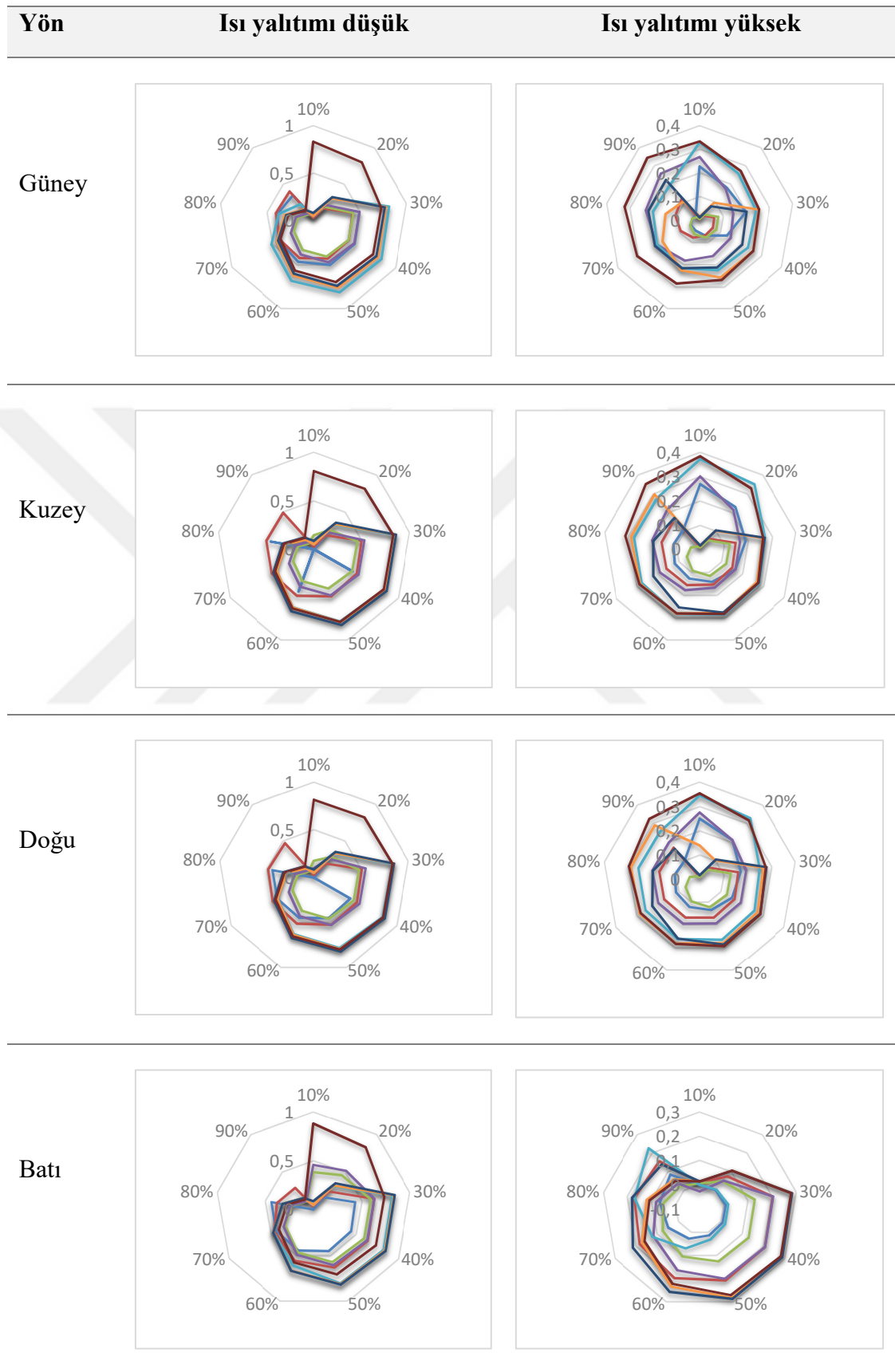
- Doğal havalandırma olmaması ve gölgelendirmenin olmaması
- Yalıtımın malzemesi U değeri en fazla olması
- Batıya yönlendirilen bina
- Pencere duvar oranı %10 olarak uygulanması

Soğuk havada enerji ihtiyacının en az olduğu koşullar;

- Doğal havalandırma var ve gölgelendirme var
- Yalıtımın malzemesi U değeri en az olması
- Batıya yönlendirilen bina
- Pencere duvar oranı %10 olarak uygulanması

Ayrıntılı olarak radar grafikler ile yıllık enerji ihtiyacı grafikleri Çizelge 4.14’de Güney, Kuzey, Doğu ve Batı olarak ayrılarak ifade edilmektedir. Daha net anlaşılabilmesi için 8 çizelge yalıtımı düşük ve yalıtımı yüksek olarak özeti hazırlanmıştır. Burada sadece yalıtımı yetersiz kullandığımız durum ve yalıtımı çok iyi kullandığımız durumlardaki karşılaştırma yapılabilir. Çizelge 4.6 ile 4.13 arasındaki tablolarda sayısal verileri içeren bilgilerde görüldüğü üzere yalıtımın orta kullanılması ile iyi kullanılması arasında az fark bulunmaktadır. O nedenle Çizelge 4.14 sadece yalıtımın düşük ve yüksek olması olarak karşılaştırılmaktadır. En dışarıda olan çizgiler en fazla enerji ihtiyacının olduğunu gösterirken, en içerde olan çizgiler en az enerji ihtiyacını belirten çizgilerdir.

Çizelge 4.14. ANFIS ile elden edilen sayısal sonuçların radar grafikleri



- Sıcak hava koşullarında havalandırmanın mevcut olması ve gölgelendirmenin kullanılması ile yıllık enerji ihtiyacına etkisi
- Sıcak hava koşullarında havalandırmanın olmaması ve gölgelendirmenin kullanılması ile yıllık enerji ihtiyacına etkisi
- Sıcak hava koşullarında havalandırmanın mevcut olması ve gölgelendirmenin kullanılmaması ile yıllık enerji ihtiyacına etkisi
- Sıcak hava koşullarında havalandırmanın ve gölgelendirmenin kullanılmaması ile yıllık enerji ihtiyacına etkisi
- Soğuk hava koşullarında havalandırmanın mevcut olması ve gölgelendirmenin kullanılması ile yıllık enerji ihtiyacına etkisi
- Soğuk hava koşullarında havalandırmanın olmaması ve gölgelendirmenin kullanılması ile yıllık enerji ihtiyacına etkisi
- Soğuk hava koşullarında havalandırmanın mevcut olması ve gölgelendirmenin kullanılmaması ile yıllık enerji ihtiyacına etkisi
- Soğuk hava koşullarında havalandırmanın ve gölgelendirmenin kullanılmaması ile yıllık enerji ihtiyacına etkisi

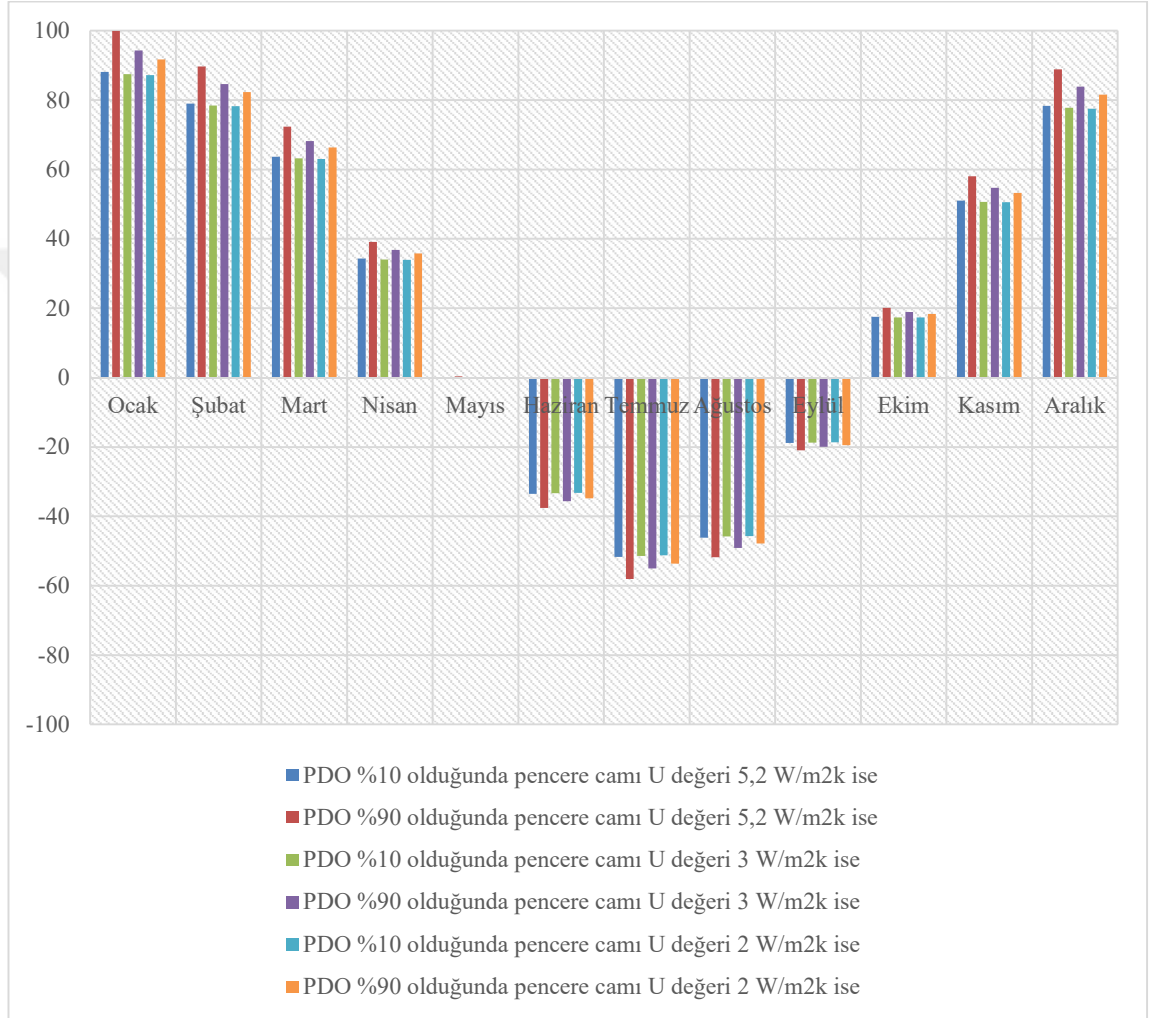
Çizelge 4.14'te radar grafiklerinde sonuçları belirten renklerin ifade ettiği lejantı açık mavi, turuncu, gri, sarı, koyu mavi, yeşil, lacivert ve kırmızı olarak gösterilmektedir.

4.6 Bina yapısında TS 825 Standartlarına göre ısı kayıpları hesabı

Binalarda ısı yalıtım kurallarına sahip TS 825'e ait hesaplamalara göre bölge iklim koşullarına göre pencere büyüklüğü, mekan boyutları, kat yüksekliği, ortam sıcaklığı ve havalandırma olup olmamasına bağlı olarak ısı kayıplarını hesaplamak mümkündür. ANFIS ile elde edilen verilere göre bir mekanın kat yüksekliğine göre, mekan büyüklüğüne göre, yapı elemanlarının ısıl geçirgenlik değerleri göz önüne alınarak meydana gelebilecek tahmini ısı kayıpları grafikleri Şekil 4.10-4.14 arasında karşılaştırmalar -100 ile 100 arasında değerler ile yapıların enerji verimliliklerine etkisi ifade edilmektedir.

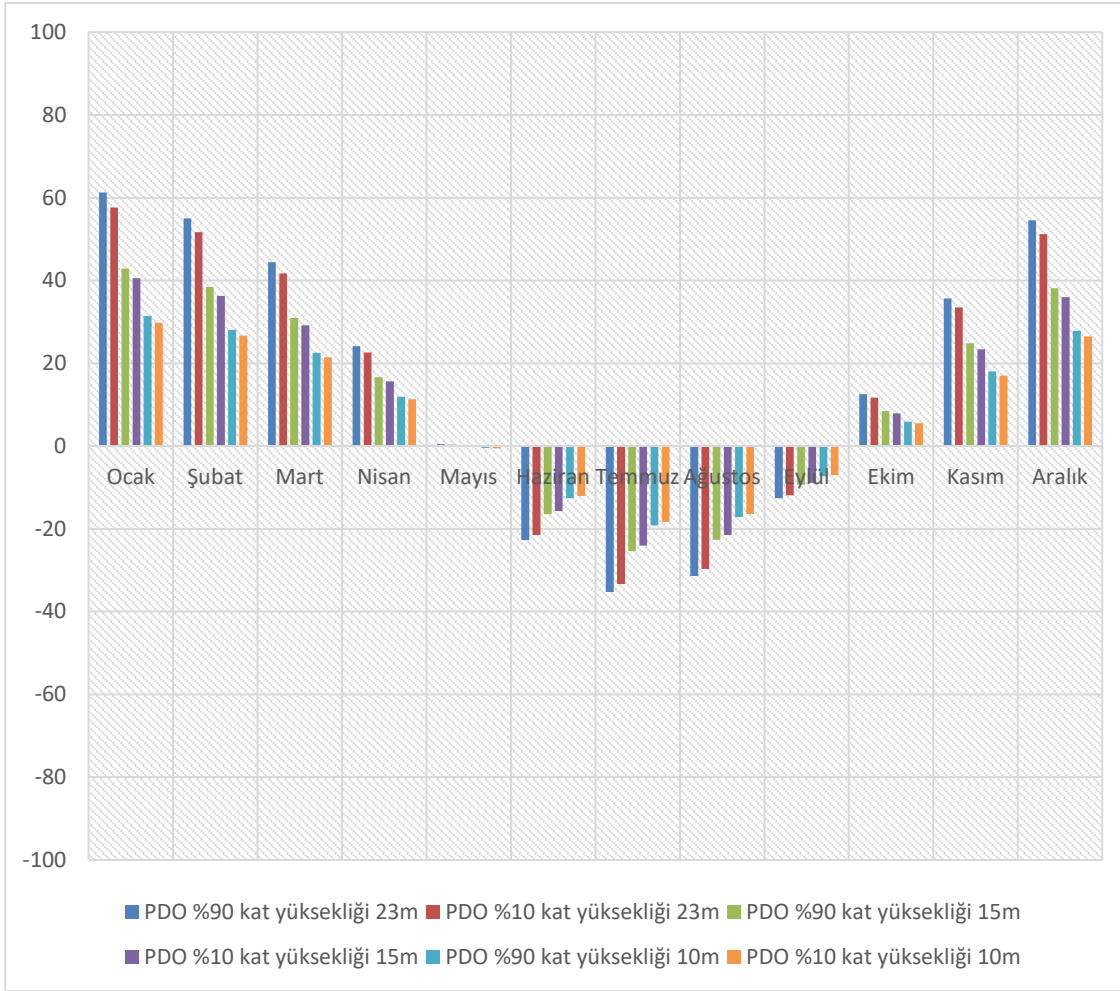
Veri olarak sinirsel bulanık mantık yöntemi ile elde edilen en az enerjiye sahip olabilecek bina özellikleri olan bina yönlendirilmesi, yapı elemanları ısıl geçirgenlik değerleri, pencere duvar oranları bir arada düşünülmektedir. %10 ve %90 pencere duvar oranı olması çıkan sonuçlar arasında en az enerji ihtiyacı olması belirlenmesi TS 825 kurallarında da uygulanmasına etkisi olmaktadır. İlk karşılaştırma olarak Şekil 4.10'da pencere camının özelliğinin ısı kayıplarına olan etkisi olarak incelenmektedir. Üç örnek cam ele alınarak, tek cam, çift cam ve üçlü cam arasında karşılaştırma yapılmaktadır. Enerji ihtiyacını düşüren pencere duvar oranlarında %10 ve %90 için ayrı ayrı değerlendirilen verilerde yıl içinde aylık olarak değişimleri incelenmektedir. Özellikle ocak ayında ısı kayıplarının tüm cam özelliklerinde en yüksek ısı kayıpları yaşadığı mayıs ayında da neredeyse sıfıra yakın ısı kaybı olduğu görülmektedir. Haziran, temmuz, ağustos ve eylül aylarında ise ısı kaybı yerine iç mekana biriken ısı kazancı fazla olması

da iklimin özelliğinden dolayı soğutma ihtiyacının yüksek olacağını göstermektedir. Şekil 4.10'da pencere duvar oranları arasındaki farka bakıldığında pencerede tek cam kullanılması ve %90 oranında cephede pencere uygulanması en fazla ısı kaybını gerçekleştirdiğini ve dolayısıyla enerji ihtiyacını etkileyen özellik olacağını göstermektedir. Kış aylarda tek cam kullanılan pencerelerde %10 oranında pencere duvar kullanılması ile yaklaşık olarak %11 enerji ihtiyacı azalabileceği, bahar aylarında bu oran %12'ye çıkmaktadır. Üçlü cam kullanılması ise kış aylarında yaklaşık %4,9 enerji ihtiyacı azalırken bahar aylarında yaklaşık %5 enerji ihtiyacı azaltacaktır.



Şekil 4.10. Pencere duvar oranının cam ısı geçirgenliğine göre ısı kayıp tablosu

Pencere camında tek cam kullanılması ile üçlü cam kullanılması arasında fark olmasına rağmen geneline baktığımızda ısı kaybında en önemli faktörün pencerenin büyüklüğü olduğu saptanmıştır. Pencerenin büyüklüğü arttıkça tek cam ve üçlü cam arasındaki ısı kaybı farkı da belirgin şekilde değişmektedir.

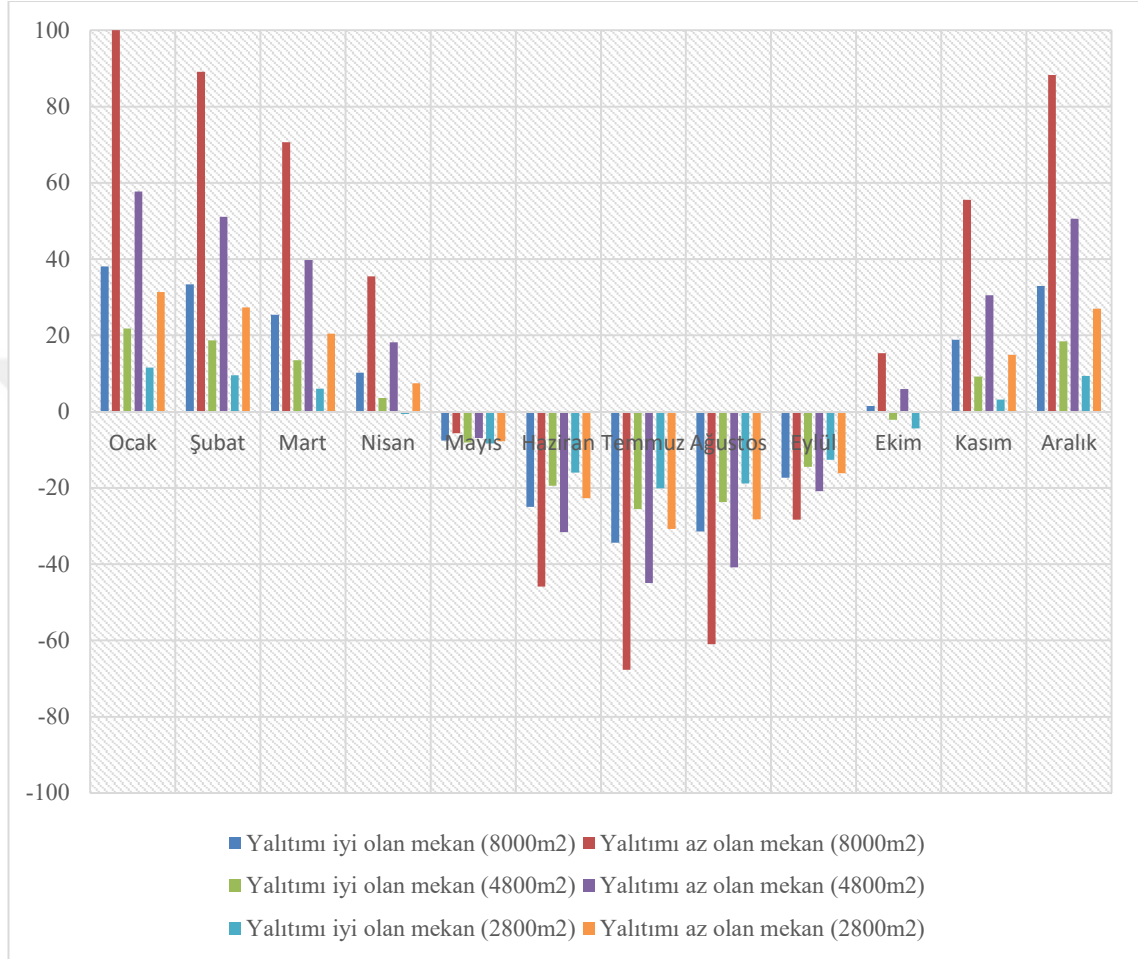


Şekil 4.11. Pencere duvar oranının kat yüksekliğine göre ısı kaybı tablosu

Şekil 4.11’de pencere duvar oranının kat yüksekliğine ile arasındaki ilişkiye bakıldığında kat yüksekliği azaldıkça pencere duvar oranındaki büyük oran olması veya küçük oran olması arasındaki fark da azalmaktadır. Kat yüksekliği ne kadar fazla ise pencere duvar oranındaki %10 ile %90 arasındaki ısı kaybı farkı da açılmaktadır. Aylara göre baktığımızda en fazla ısı kaybı ocak ayı en az ise mayıs ayı olduğu saptanmıştır. Kış aylarında pencerenin duvara oranı %10 olması durumunda 23 metre kat yüksekliğine sahip binada yaklaşık %5,88 oranında enerji ihtiyacı azalabilmektedir. 10 metre kat yüksekliği olduğunda enerji ihtiyacı yaklaşık %5,1 oranında azalacaktır. Bahar aylarında pencere duvar oranı %10 kullanıldığında 23 metre kat yüksekliğinde enerji ihtiyacı yaklaşık %10,37 oranında azalırken, 10 metre kat yüksekliğinde enerji ihtiyacı yaklaşık %5,88 olarak azalmaktadır.

Isı kayıplarında yalıtımın büyük bir etkisi bulunmaktadır. Yalıtım malzemesinin ısıl geçirgenliği, kalınlığı gibi kriterler iç mekanda ısı kayıplarını önemli miktarda etkilemektedir. Şekil 4.12’ye göre ısı kayıplarında yalıtımın ince veya ısıl geçirgenlik katsayısı yüksek kullanılması mekanın ısı kaybını büyük oranda etkilemektedir. Yalıtımı iyi yapılmış 8000 m2 alan ile yalıtımı iyi olmayan 2800 m2 mekan arasındaki ısı kaybı

oranları farkı birbirlerine çok yakındır. Bu durumda mekanın büyüklüğüne karar verirken göz önüne alınması gereken en önemli faktörün yalıtım olduğu grafikten anlaşılmaktadır. En fazla ısı kaybı oranının ocak ayında, en az ısı kaybı oranının ekim ayında olduğu belirlenmiştir. Tüm aylara göre en az ısı kaybı oranı yalıtımı iyi olan 2800 m2 mekana sahip alanlar olduğu grafikten çıkan sonuçlardır.

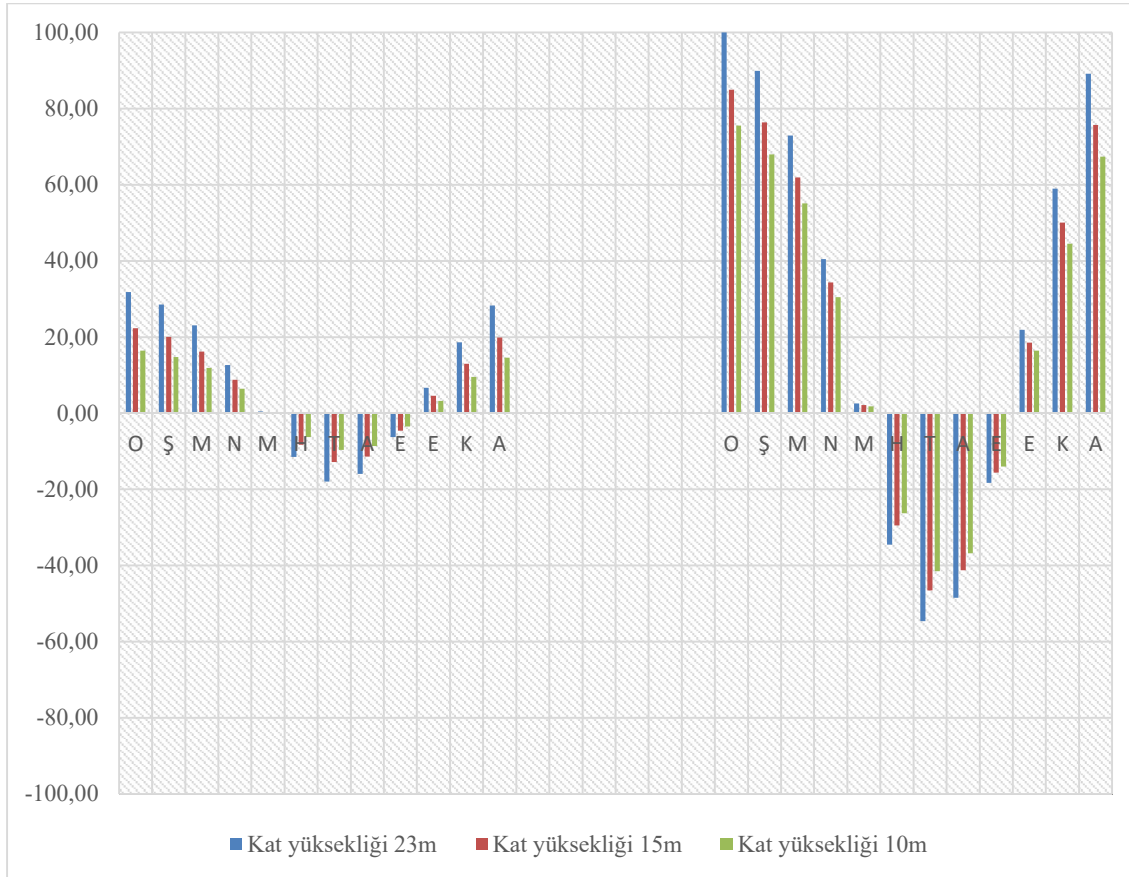


Şekil 4.12. Yalıtımın mekan büyüklüğüne göre ısı kayıp tablosu

Kış aylarında 8000m2 kullanım alanına sahip mekanın yapı elemanlarının yalıtımlarının iyi olmasıyla kötü olması arasında yaklaşık %62 oranında enerji ihtiyacı azalmaktadır. Mekan 2800 m2 kullanıldığında bu oran yaklaşık %63,2 olmaktadır. Bahar aylarında 8000m2 kullanım alanına sahip mekanın yapı elemanlarının yalıtımlarının iyi olmasıyla kötü olması arasında yaklaşık %71,46 oranında enerji ihtiyacı azalmaktadır. Mekan 2800 m2 kullanıldığında bu oran yaklaşık en az %70,5 en fazla %100 oranında enerji ihtiyacı azalmaktadır. Nisan ayından sonra yalıtım iç mekanda ısı birikmesine neden olduğu için havalandırma veya soğutma ihtiyacı yaz aylarında ve sonbaharın ilk ayında bir miktar arttırmaktadır.

Yalıtımın ısı kayıplarında önemli bir etken olduğu Şekil 4.12’de belirtilmişti. Şekil 4.13’te ise yalıtımın kat yüksekliği ile olan ilişkisini gösteren iki grafik

bulunmaktadır. Sol tarafta bulunan grafik yalıtımın iyi olduğu, sağ taraftaki grafik yalıtımın yetersiz olduğu kabul edilerek hesaplanmıştır. Yalıtımın çok iyi olması ile kat yüksekliğinin yüksekliğinde 23 metre kullanılırsa enerji verimliliğini kış aylarında aylarında yaklaşık %68 etkileyeceği, 10 metre kullanılırsa verimi yaklaşık %78 oranında etkileyeceği saptanmıştır. Yaz aylarında ısıнын içeride birikmemesi açısından yalıtımın iyi kullanılmasıyla 23 metre kat yüksekliğine sahip mekanda enerji verimliliği yaklaşık %67, 10 metre kullanılırsa verim yaklaşık %76 oranında etkileyeceği sonucuna varılmıştır. Isı kayıplarının en fazla ocak ayında, en az mayıs ayında gerçekleşeceği görülmektedir.



Şekil 4.13. Yalıtımın kat yüksekliğine göre ısı kaybı tablosu

Bu grafiklere bakarak yalıtım kullanıldığı takdirde kat yüksekliği veya mekan büyüklüğünün artmasında enerji ihtiyacını yalıtım olmayan binaya göre daha az olacağı belirlenmiştir.

5. TARTIŞMA

Çalışmanın bulgular kısmında elde edilen veriler ile bir binanın yıllık enerji ihtiyacını en az düzeyde karşılayabilmesi ve elektrik, doğal gaz gibi faturaların üzerinde etkili bir şekilde tasarruf edebilmesini sağlayabilmesi amaçlanmaktadır. Bu konuda Pasif Ev konseptinin uygulanması ve Pasif Ev kriterlerine bağlı olarak değişimler yapılması yönünde veriler toplanmaktadır. Pasif Ev konsepti soğuk iklimlerde yeni yapılan binalarda %90'a yakın enerji tasarrufu sağlamaktadır. Aynı konsept Akdeniz iklimi gibi sıcak bölgelerde uygulanırsa enerji tasarrufu sağlanabileceği yapay zeka sinirsel bulanık mantık yöntemi ile uygulanabildiğinde de enerji tasarrufu sağlayabileceğini göstermektedir. Kapalı havuzlarda iç ortam sıcaklık değerinin sabit ve 26 derece olması iç mekan ile dış ortam sıcaklık farkında oluşacak değişimler göz önüne alınarak yarı olimpik kapalı havuz ölçülerine bağlı kalarak binanın tasarım sürecinde nelere dikkat edilmesi gerektiğine yönelik araştırılmıştır. Şekil 5.1'de temsili olarak tasarlanan yarı olimpik kapalı havuzun en ideal enerji tasarrufu pencere duvar oranları %90 veya %10 olduğu zamanlarda olduğu saptanmıştır.



Şekil 5.1. Binanın %90 ve %10 pencere duvar oranı olduğu durumlardaki görsel

Güneşten gelen ısı kazancını kullanabilmelerine yönelik ve içeride ısı birikmesinin yaşanmaması için dikkat edilmesi gereken bazı kriterler de bulunmaktadır. Bu kriterler binanın yönlendirilmesi, hava koşulları, doğal havalandırma yapılması / yapılmaması, cephede gölgelendirme elemanlarının kullanılması / kullanılmaması ve yapı elemanlarının malzeme kullanımında yalıtım malzemelerinin kalınlık veya ısı geçirgenlik değerleri bakımından seçilerek uygulanması gibi özelliklere sahiptir. Çizelge 5.1'de belirtilen bu özelliklere göre ideal olması gereken pencere duvar oranlarını gösteren gerekli bilgiler bulunmaktadır. Tabloya genel olarak bakıldığında %60 pencere duvar oranının diğer pencere oranlarına göre enerji tasarrufu sağlamasında fazla katkısı olmamasından dolayı yer almamaktadır.

Tek bir doğru tasarım çözümü olmamasından dolayı çevre şartları ve tasarımda dikkat edilmesi gereken cephede pencere boşlukları, malzeme maliyeti vs. gibi başka unsurlar bulunduğu tabloda uygun konum, gölgelendirme elemanı ihtiyacı, doğal havalandırma ihtiyacı ve yalıtım özelliği gibi kriterler takip edilerek yapılabilecek en enerji tasarruflu bina ortaya çıkarılabilir.

Çizelge 5.1. Yıllık enerji ihtiyacının en az düzeyde olabilmesi için gerekli kriterler

PDO	Kuzey	Güney	Doğu	Batı	Doğal Havalandırma	Gölgelendirme Elemanı	Yalıtımı iyi yapı elemanı	Sıcak Hava koşulları	Soğuk Hava Koşulları
10%	✓	✓	✓	✓		✓			✓
	✓	✓	✓	✓	✓				✓
	✓	✓	✓		✓		✓	✓	
		✓			✓			✓	
	✓		✓		✓		✓		✓
	✓		✓	✓	✓	✓			✓
			✓	✓	✓	✓		✓	
		✓				✓	✓		✓
				✓	✓	✓	✓	✓	
				✓	✓	✓	✓		✓
20%	✓	✓	✓		✓		✓	✓	
		✓				✓	✓	✓	
	✓				✓		✓		✓
				✓	✓	✓	✓	✓	
				✓	✓	✓	✓		✓
30%			✓		✓	✓		✓	
		✓				✓	✓	✓	
				✓	✓	✓	✓	✓	
				✓	✓	✓	✓		✓
40%				✓	✓	✓	✓	✓	
				✓	✓	✓	✓		✓
50%				✓	✓	✓	✓	✓	
				✓	✓	✓	✓		✓
70%	✓		✓		✓		✓	✓	
80%	✓		✓		✓		✓	✓	
90%	✓		✓		✓			✓	
	✓	✓	✓	✓		✓			✓
	✓	✓	✓	✓	✓				✓
				✓	✓	✓		✓	
				✓	✓	✓			✓
			✓		✓	✓		✓	
			✓		✓	✓			✓
	✓		✓		✓		✓	✓	
	✓				✓	✓			✓

Tablodan elde edilen bilgilere göre bina tasarımında konuma göre yönlendirme yapılarak tasarıma başlandığında dikkat edilmesi gerekenler şöyledir;

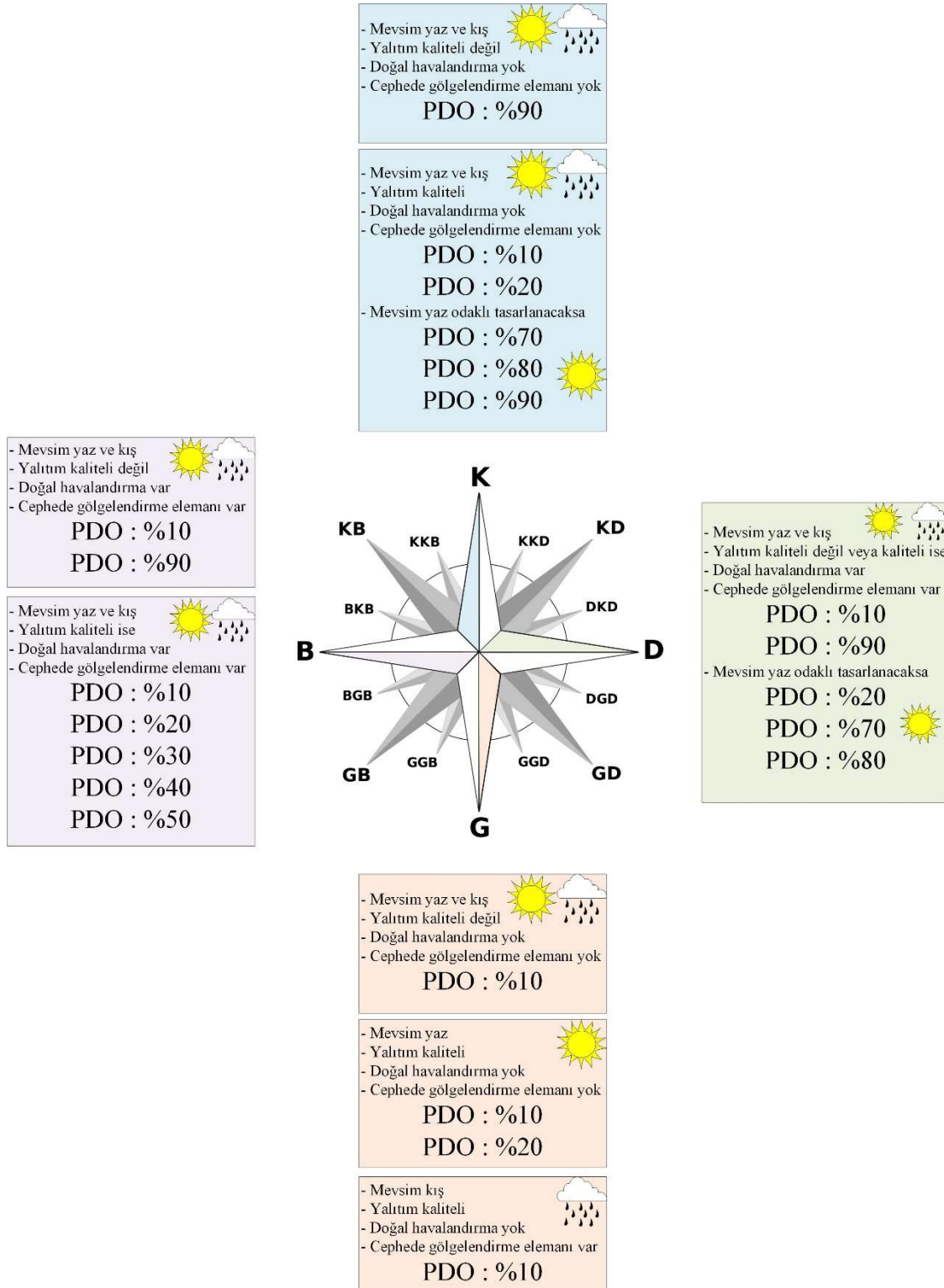
Güney yönüne yerleştirilen binanın yaz kış enerji verimliliği sağlayabilmesi için duvar, çatı veya zemin döşeme malzemeleri ısıl geçirgenlik katsayı değerleri yüksek kullandığı takdirde pencerenin duvara oranı %10 oranında yerleştirilmeli, doğal havalandırma kullanılmalı ve gölgelendirme elemanı cephede kullanılmamalıdır. Yapı elemanlarının ısıl geçirgenlik katsayı değerleri düşük kullandığı takdirde yaz dönemi pencere duvar oranı %10 veya %20 olarak kullanılabilir. Kış dönemi ise pencere duvar oranının %10 oranında kullanılması doğal havalandırmanın olmaması ve cephede gölgelendirme elemanlarının kullanılması gerekecektir.

Kuzey yönüne yerleştirilen binanın yaz kış enerji verimliliği sağlayabilmesi için duvar, çatı veya zemin döşeme malzemeleri ısıl geçirgenlik katsayı değerleri yüksek kullandığı takdirde pencerenin duvara oranı %90 oranında yerleştirilmeli, doğal havalandırma kullanılmalı ve gölgelendirme elemanı cephede kullanılmamalıdır. Yapı elemanlarının ısıl geçirgenlik katsayı değerleri düşük kullandığı takdirde yaz ve kış dönemi pencere duvar oranı %10 veya %20 olarak kullanılabilir. İstenildiği takdirde yaz aylarında yüksek enerji verimi sağlayacağı için %70, %80 ve %90 olarak da kullanılabilir. Kış ayları da dikkate alınarak tasarım yapılması istenilirse %10 ve %20 oranında pencere duvar oranı gerçekleştirilmelidir.

Doğu yönüne yerleştirilen binanın yaz kış enerji verimliliği sağlayabilmesi için duvar, çatı veya zemin döşeme malzemeleri ısıl geçirgenlik katsayı değerleri yüksek kullandığı takdirde pencerenin duvara oranı %10 veya %90 oranında yerleştirilmeli, doğal havalandırma kullanılmalı ve gölgelendirme elemanı cephede kullanılmalıdır. Yapı elemanlarının ısıl geçirgenlik katsayı değerleri düşük kullandığı takdirde yaz ve kış dönemi pencere duvar oranı %10 veya %90 olarak kullanılabilir. İstenildiği takdirde yaz aylarında yüksek enerji verimi sağlayacağı için %20, %70 ve %80 olarak da kullanılabilir. Bu durumda kış aylarında beklenen verim bir miktar düşebilir.

Batı yönüne yerleştirilen binanın yaz kış enerji verimliliği sağlayabilmesi için duvar, çatı veya zemin döşeme malzemeleri ısıl geçirgenlik katsayı değerleri yüksek kullandığı takdirde pencerenin duvara oranı %10 veya %90 oranında yerleştirilmeli, doğal havalandırma kullanılmalı ve gölgelendirme elemanı cephede kullanılmalıdır. Yapı elemanlarının ısıl geçirgenlik katsayı değerleri düşük kullandığı takdirde yaz ve kış dönemi pencere duvar oranı %10, %20, %30, %40 veya %50 olarak kullanılabilir.

Bu kriterlere göre en uygun seçenek çoğunlukla %10 oranında pencere kullanmak, diğer çoğunlukta olan seçenek %90 oranında pencere kullanmaktır.



Şekil 5.2. Yapı tasarlanma aşamasında enerji verimi en fazla sağlayabilecek PDO oranları özet şeması

Binanın tasarımında kullanılacak yapı malzemeleri de iç mekanda enerji miktarını önemli oranda etkileyecek faktörlerdendir. Bir kapalı havuz binası tasarımı için kullanılacak malzemelerin bir araya getirilmesi ve ısıl geçirgenlik değerlerine göre kategorileştirilmesi Çizelge 5.2’de uygulanmıştır.

Çizelge 5.2. Kullanılacak malzemelerin kategori edilerek ayrıştırılmış tablosu

KATEGORİ	DUVAR MALZEMESİ	YALITIM MALZEMESİ	ÇATI MALZEMESİ	TABAN DÖŞEME MALZEMESİ
K1	Betonarme Mermer Granit	Isı yalıtım boyası Kerpiç	Betonarme	Kuvarsit (Sioux)
K2	Dolu tuğla	Selüloz vatka	Marsilya Kiremit Alaturka Kiremit Düz Kiremit Roman Kiremit Oluklu Kiremit	Granit (Düşük) Mermer (Düşük) Mermer (Halston) Kumtaşı (Berea) Seramik
K3	Yatay delikli tuğla Yapay taş kaplama	Hava Boşluğu Genleştirilmiş kil İnce ısı yalıtım katmanı Kil Tuğlası Ponza taşı tuğlası Gözenekli beton	Lifli Çimento Esaslı Oluklu Levha Çatı Kaplamları Beton Kiremitler	Kireçtaşı (Salem) Mermer (Yüksek) Kayrak Fayans
K4	İzo tuğla Alçı kaplama	Perlit Vermikülit Kamış Panel Saman yalıtımı	Asfalt Çatı Shingle Yaltek Shingle PVC (Polivinil klorür) Esaslı Çatı Kaplama Polikarbonat Esaslı Çatı Kaplama Ürünleri Akrilik Cam Esaslı Çatı Kaplama Ürünleri Cam Takviyeli Polyester Levhalar Plastik Esaslı Kiremit Sinüs Oluklu Ondüle Levhalar Pleksiglas	Kireçtaşı (Düşük) Kumtaşı (Yüksek)
K5	Ytong Bims Ahşap plaka	Foamglas Cam Köpüğü Cam yünü Taş yünü Mantar Yalıtım Ağaç lifli yalıtım levhası Keten Yalıtım Kenevir Yalıtım Koyunyünü ısı yalıtımı Hindistan Cevizi lifi Hidrofil (pamuk) yün	Metal Kiremitler Düz Alüminyum Levhalar Trapez Alüminyum Levhalar Galvanize Sac Çatı Tek Kat Metal Levhalar Çinko Levhalar Bakır Levhalar Kurşun Levhalar Çelik Levhalar Sandviç Paneller Alçı tavanlar Knauf Aquapanel	Beton Fayans Plastik Fayans Mantar Fayans kaplama Yapay taş kaplama
K6	Odun talaşı	Genleştirilmiş Polistren Köpük (EPS) Polistren sert köpük(XPS) Poliüretan (PUR) Fenol Köpüğü Vakum Yalıtım Panelleri Aerojel	Ahşap Kaplama OSB Kaplama Ytong Çatı Plağı	Kauçuk Fayans PVC Yer Döşeme

Sıralama ısı geçirgenlik değerleri olan U değerlerine göre değeri büyük olandan küçük olana doğru (K1-K6 arası) sıralanmaktadır. Bu sıralamaya göre tablolarda elde edilen yapı elemanlarındaki U değerleri ne kadar düşük olursa yapı elemanlarının iç mekandan dış ortama veya dış ortamdan da iç mekana ısı akışı geçişini o kadar azaltmaktadır. Farklı yapı elemanlarında aynı kategoriyi kullanmak veya farklı kategorileri kullanarak bir araya gelmesi sonucunda elde edilecek toplam U değerleri her bir yapı elemanından dört farklı örnek olacak şekilde Çizelge 5.3 - Çizelge 5.14 arası işlenmiştir. Amaç ısı geçirgenlik değerlerine göre karma veya aynı düzende kategorilerin kullanılmasının U değerine etkisini karşılaştırmaktır.

Duvar uygulaması için Çizelge 5.3'te bulunan uygulama sırasına göre iç mekanda sıva ile başlayıp dış mekanda boya ile biten yapının kalınlık ve ısı iletkenlik katsayılarının bir arada kullanılması ile elde edilen U değerinin 0,11 olduğu bulunmaktadır. Pasif Ev konseptine göre soğuk iklimlerde en fazla 0,15 olması gereken bu değer sıcak iklimde uygulanmasının da sadece yalıtım malzemesini kalınlık değerini arttırarak mümkün olabileceğini göstermektedir. Duvar malzemesi olarak kategori 5 ve yalıtım için kategori 6 kullanılmıştır.

Çizelge 5.3. Duvar Tip 1 iç mekan bitirme malzemesi sıva

Uygulanma Sırası	Malzeme Adı	Kalınlık $d(cm)$	$K (W/mk)$	$d/K (m^2k/w)$	$U W/M^2k$
1	1/ai Yüzeysel Isıl İletim Katsayısı (iç)	-	-	0,130	
2	İç sıva	0,02	0,87	0,023	
3	Ytong (K5-duvar)	0,3	0,15	2,000	
4	PUR yalıtım (K6-yalıtım)	0,2	0,029	6,897	
5	Dış sıva	0,03	0,87	0,034	
6	Boya	0,01	0,55	0,018	
7	1/ad Yüzeysel Isıl İletim Katsayısı (dış)	-	-	0,040	
				9,142	0,11

Günümüzde sıcak iklimlerde yapılan kapalı havuzlarda herhangi bir yalıtım malzemesi bulunmamaktadır. Yeni yapılan binalar dışında eski binalara bakıldığında konut binalarında dahi yalıtım uygulanmamıştır. Akdeniz bölgesinde bu şekilde uygulamanın zorunlu mantolama şartı getirilmesiyle yavaş yavaş kalkmakta ve yalıtım malzemelerinin kullanımlarını yeni yapılan binalarda görülebilmektedir. Diğer bir örnek (Çizelge 5.4) iç kaplama malzemesi mermer ve dış duvar bitirme malzemesi boya olarak kullanılmaktadır. Duvar malzemesi olarak kategori 3, yalıtım malzemesi kategori 6 kullanılmakta ve toplam U değeri 0,13'dür.

Çizelge 5.4. Duvar Tip 2 iç mekan bitirme malzemesi mermer

Uygulanma Sırası	Malzeme Adı	Kalınlık $d(cm)$	$K (W/mk)$	$d/K (m2k/w)$	$U W/M2k$
1	1/ai Yüzeysel Isıl İletim Katsayısı (iç)	-	-	0,130	
2	Mermer	0,03	2,8	0,011	
3	Sıva	0,02	0,87	0,023	
4	Yatay Delikli Tuğla (K3-duvar)	0,135	0,45	0,300	
5	EPS yalıtım (K6-yalıtım)	0,2	0,029	6,897	
6	Sıva	0,03	0,87	0,034	
7	Boya	0,01	0,55	0,018	
8	1/ad Yüzeysel Isıl İletim Katsayısı (dış)	-	-	0,040	
				7,453	0,13

Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4'te K6 kategorisinde bir yalıtım malzemesi kullanılması Pasif Ev konseptine göre gerekli kriteri karşılayabileceği, kullanılan diğer malzemelerle birlikte ortaya çıkan U değerini 0.15'den düşük olduğu için sağlayabilmektedir.

Çizelge 5.5 ile iç mekanda kaplama malzemesi ahşap kullanılması, kategori 4'den izotuğla ve kategori 3'den yalıtım malzemesi kullanılmaktadır. Dış bitirme malzemesi olarak boya kullanılan duvarda U değeri 0,60'dır. Bu durumda kategoriler arasında değişimde özellikle yalıtımın kategorisi değiştiğinde U değerini büyük oranda etkilediği görülmektedir.

Çizelge 5.5. Duvar Tip 3 iç mekan bitirme malzemesi ahşap

Uygulanma Sırası	Malzeme Adı	Kalınlık $d(cm)$	$K (W/mk)$	$d/K (m2k/w)$	$U W/M2k$
1	1/ai Yüzeysel Isıl İletim Katsayısı (iç)	-	-	0,130	
2	Ahşap (K5-duvar kaplama)	0,02	0,16	0,125	
3	Sıva	0,02	0,87	0,023	
4	İzotuğla (K4-duvar)	0,19	0,21	0,905	
5	İnce ısı yalıtım katmanı (K3-yalıtım)	0,04	0,1	0,400	
6	Sıva	0,03	0,87	0,034	
7	boya	0,01	0,55	0,018	
8	1/ad Yüzeysel Isıl İletim Katsayısı (dış)	-	-	0,040	
				1,675	0,60

Çizelge 5.6'da yapılan örnekte ise yalıtım kategori 5'den kullanılarak duvar malzemesi kategori 1 ile eşleştirilmesiyle uygulanan duvar malzemelerinin bir araya gelmesiyle U değeri 0,14 olduğu saptanmıştır.

Çizelge 5.6. Duvar Tip 4 iç mekan bitirme malzemesi boya dış bitirme malzemesi Granit

Uygulanma Sırası	Malzeme Adı	Kalınlık $d(cm)$	$K (W/mk)$	$d/K (m2k/w)$	$U W/M2k$
1	1/ai Yüzeysel Isıl İletim Katsayısı (iç)	-	-	0,130	
2	Boya	0,01	0,55	0,018	
3	Sıva	0,02	0,87	0,023	
4	Betonarme duvar (K1-duvar)	0,2	1,8	0,111	
5	Cam yünü (K5-yalıtım)	0,2	0,03	6,667	
6	Sıva	0,03	0,87	0,034	
7	Granit (K1-duvar)	0,02	1,73	0,012	
8	1/ad Yüzeysel Isıl İletim Katsayısı (dış)	-	-	0,040	
				7,035	0,14

Çizelge 5.7 – Çizelge 5.10 arasında taban döşemesi için yapılan dört örnek bulunmaktadır. Bitime malzemelerinin granit (kategori 2), mermer (kategori 3), PVC yer döşemesi (kategori 6) veya kireçtaşı (kategori 4) olduğu halleri ile yalıtım malzemelerinin değişik kategorilerden kullanılması olarak uygulama yapıldığında aralarında U değeri olarak farklar olmaktadır. Özellikle yalıtım malzemesinin kalınlığı ve hangi kategoriden kullanıldığı da U değerini değiştiren bir diğer konu olmaktadır. Pasif Ev standartlarına göre Çizelge 5.7’de kategori 6’dan yalıtım kullanılsa da zemin malzemesi kategori 2’den seçildiği için U değeri 0,22 olduğu belirlenmiştir. Bu durumda 0,15’den büyük olması Pasif Ev konseptine uymadığını gösterir.

Çizelge 5.7. Taban döşemesinde bitirme malzemesi granit malzeme kullanılması

Uygulanma Sırası	Malzeme Adı	Kalınlık $d(cm)$	$K (W/mk)$	$d/K (m2k/w)$	$U W/M2k$
1	1/ai Yüzeysel Isıl İletim Katsayısı (iç)	-	-	0,130	
2	Granit (K2-taban)	0,02	1,73	0,012	
3	Tesviye Şapı	0,05	1,4	0,036	
4	Su Yalıtımı	0,001	0,18	0,006	
5	Polistren sert köpük(XPS) (K6-yalıtım)	0,12	0,029	4,138	
6	Su Yalıtımı	0,001	0,18	0,006	
7	Grobeton	0,1	1,1	0,091	
8	Blokaj	0,15	1,74	0,130	
9	Sıkıştırılmış Toprak	-	-	-	
				4,547	0,22

Çizelge 5.8’de yalıtım malzemesi kategori 6’dan seçilmesi ve zemin malzemesi kategori 3’ten seçilmesi toplam U değeri 0,10 olması nedeniyle Pasif Ev konseptinin kriterlerinden birini karşıladığını göstermektedir.

Çizelge 5.8. Taban döşemesinde bitirme malzemesi mermer malzeme kullanılması

Uygulanma Sırası	Malzeme Adı	Kalınlık d(cm)	K (W/mk)	d/K (m2k/w)	U W/M2k
1	1/ai Yüzeysel Isıl İletim Katsayısı (iç)	-	-	0,130	
2	Mermer (K3-taban)	0,02	2,07	0,010	
3	Tesviye Şapı	0,05	1,4	0,036	
4	Su Yalıtımı	0,001	0,18	0,006	
5	Vakum Yalıtım Panelleri (K6-yalıtım)	0,04	0,0042	9,524	
6	Su Yalıtımı	0,001	0,18	0,006	
7	Grobeton	0,1	1,1	0,091	
8	Blokaj	0,15	1,74	0,130	
9	Sıkıştırılmış Toprak	-	-	-	-
				9,931	0,10

Çizelge 5.9 incelendiğinde yalıtım malzemesi kategori 5 ve zemin döşemesi kategori 6'dan seçilmektedir. Ancak PVC yer döşemesinin inceliğinin çok fazla olması nedeniyle yeterli ısıl geçirgenlik değerine sahip olamaması bu durumda U değeri 0,24 olduğu belirlenmektedir.

Çizelge 5 9. Taban döşemesinde bitirme malzemesi PVC Yer kaplaması kullanılması

Uygulanma Sırası	Malzeme Adı	Kalınlık d(cm)	K (W/mk)	d/K (m2k/w)	U W/M2k
1	1/ai Yüzeysel Isıl İletim Katsayısı (iç)	-	-	0,130	
2	PVC Yer Döşeme (K6-taban)	0,002	0,25	0,008	
3	Tesviye Betonu	0,05	1,4	0,036	
4	Su Yalıtımı	0,001	0,18	0,006	
5	Taş yünü (K5-yalıtım)	0,12	0,032	3,750	
6	Su Yalıtımı	0,001	0,18	0,006	
7	Grobeton	0,1	1,1	0,091	
8	Blokaj	0,15	1,74	0,130	
				4,156	0,24

Çizelge 5.10'a göre, yalıtım malzemesi kategori 6'dan, zemin malzemesi kategori 4'den seçildiğinde Pasif Ev için beklenen kriteri sağlamamaktadır. Taban döşeme uygulaması için duvar uygulamasından farklı olarak kategori 5 ve kategori 6 arasında yapılacak seçimlerin Pasif Ev kriterlerine daha uyabileceği öngörülmektedir.

Çizelge 5.10. Taban döşemesinde bitirme malzemesi Kireçtaşı Yer kaplaması kullanılması

Uygulanma Sırası	Malzeme Adı	Kalınlık d(cm)	K (W/mk)	d/K (m2k/w)	U W/M2k
1	1/ai Yüzeysel Isıl İletim Katsayısı (iç)	-	-	0,130	
2	Limestone (Kireçtaşı) (K4-taban)	0,02	1,3	0,015	
3	Tesviye Betonu	0,05	1,4	0,036	
4	Su Yalıtımı	0,001	0,18	0,006	
5	EPS(K6-yalıtım)	0,13	0,029	4,483	
6	Su Yalıtımı	0,001	0,18	0,006	
7	Grobeton	0,1	1,1	0,091	
8	Blokaj	0,15	1,74	0,130	
				4,896	0,20

Çatılar için yapılacak seçimde olası malzemeler bir araya getirilerek dört farklı uygulama örneği oluşturulmaktadır. Bu uygulamalarda Çizelge 5.11 – Çizelge 5.14 arası ifade edilmektedir.

Çizelge 5.11'e göre, çatıda kategori 1'den betonarme, kategori 6'dan EPS yalıtım ve kategori 5'den çatı bitirme malzemesi birarada kullanılması U değerini 0,17 olduğu ve Pasif Ev için uygun olmayacağını göstermektedir.

Çizelge 5.11. Çatı döşeme uygulaması bitirme malzemesi Aquapanel

Uygulanma Sırası	Malzeme Adı	Kalınlık d(cm)	K (W/mk)	d/K (m2k/w)	U W/M2k
1	1/ad	-	-	0,040	
2	Knauf Aquapanel (K5-çatı)	0,012	0,32	0,038	
3	Harç	-	-		
4	Koruma betonu	0,1	0,53	0,189	
5	Su yalıtımı	0,0015	0,033	0,045	
6	EPS (K6-yalıtım)	0,13	0,029	4,483	
7	Buhar kesici	0,0005	0,18	0,003	
8	Hafif beton	0,04	0,067	0,597	
9	Betonarme (K1-çatı)	0,25	1,3	0,192	
10	Sıva	0,02	0,87	0,023	
11	1/ai	-	-	0,130	
				5,739	0,17

Çizelge 5.12'de çatıda kategori 1'den betonarme, kategori 6'dan PUR yalıtım ve kategori 4'ten çatı bitirme malzemesi birarada kullanılması U değerini 0,11 olduğunu göstermektedir. Çizelge 5.11'den farklı olarak yalıtım malzemesinin kalınlığının artırılması gösteriyorki farklı kategoriden bitirme malzemesi kullanılsa da yalıtım

malzemesinin etkisi toplam yapı elemanı U değerini doğrudan etkilemektedir. Bu durumda Çizelge 5.12 Pasif Ev konsepti için uygun olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.12. Çatı döşeme uygulaması bitirme malzemesi Ondüle Levhalar

Uygulanma Sırası	Malzeme Adı	Kalınlık d(cm)	K (W/mk)	d/K (m2k/w)	U W/M2k
1	1/ad	-	-	0,040	
2	Ondüle Levhalar (K4-çatı)	0,02	0,72	0,028	
3	Ondüline Altı Strafor	0,0015	0,033	0,045	
4	Naylon-Buhar Kesici	0,0005	0,18	0,003	
5	Keçe-Buhar Denge.	0,001	0,2	0,005	
6	PUR (K6-yalıtım)	0,2	0,022	9,091	
7	Betonarme (K1-çatı)	0,15	1,3	0,115	
8	Sıva	0,02	0,87	0,023	
9	1/ai	-	-	0,130	
				9,480	0,11

Bir diğer çatı uygulama örneği ise Çizelge 5.13'te gösterilmektedir. Kategori 6'da ahşap kaplama, kategori 5'te cam yünü yalıtım, kategori 2'de kiremitlerin kullanılması ile karma kategoriler kullanılmasıyla sonuç Çizelge 5.11'deki gibi U değeri 0.17 olduğunu göstermektedir.

Çizelge 5.13. Çatı döşeme uygulaması bitirme malzemesi Kiremit

Uygulanma Sırası	Malzeme Adı	Kalınlık d(cm)	K (W/mk)	d/K (m2k/w)	U W/M2k
1	1/ad	-	-	0,040	
2	Kiremit (K2-çatı)	0,02	0,72	0,028	
3	İsoline Levha Kiremit Altı Yalıtım	0,0015	0,033	0,045	
4	Ahşap Kaplama (K6-çatı)	0,02	0,16	0,125	
5	Naylon-Buhar Kesici	0,0005	0,18	0,003	
6	Keçe-Buhar Denge	0,001	0,2	0,005	
7	Cam Yünü (K5-yalıtım)	0,16	0,03	5,333	
8	Ahşap Kaplama	0,02	0,16	0,125	
9	Sıva	0,02	0,87	0,023	
10	1/ai	-	-	0,130	
				5,857	0,17

Çatıda bitki katmanı uygulanmak istendiğinde yalıtım malzemesi EPS (kategori 6) seçilmesi ile U değeri 0,21 olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.14. Çatı döşeme uygulaması bitirme malzemesi bitki katmanı

Uygulanma Sırası	Malzeme Adı	Kalınlık $d(\text{cm})$	K (W/mk)	d/K ($\text{m}^2\text{k/w}$)	U $\text{W/M}^2\text{k}$
1	1/ad	-	-	0,040	
2	Bitki katmanı	-	-	-	
3	Toprak	0,1	2,4	0,042	
4	Filtre katmanı	0,005	0,06	0,083	
5	Hava boşluğu (K3-yalıtım)	0,05	0,16	0,313	
6	EPS (K6-yalıtım)	0,12	0,035	3,429	
7	Drenaj katmanı	0,05	0,08	0,625	
8	Su geçirmez katman	0,004	0,2	0,020	
9	Betonarme (K1-çatı)	0,1	1,5	0,067	
10	Sıva	0,02	0,87	0,023	
11	1/ai	-	-	0,130	
				4,729	0,21

Elde edilen sonuçlara göre kategori 6 satırında kullanılan malzemeler ile enerji verimliliğini sürdürebildiğimiz yapılar inşa edebilirken, karma kullanımlarda da bu verimliliği kullanabileceğimiz görülmektedir. Ancak çoğunluk olarak kategori 1 ve 2'nin kullanıldığı durumlarda ısı geçirgenlik değeri istenilen değerlerin üstüne çıktığı için verimlilik azalacak ve iç mekanda harcanan enerji artacaktır. Kategori 6 satırında kullanılan malzemelerin bir arada kullanılması yapı elemanlarının ısıyı iç mekanda daha fazla tutabilmesi ile enerji verimliliği sağlama konusunda daha etkili olabilmektedir. Kategori 6 ile diğer kategoriler eşleştirildiğinde yine enerji verimliliğini sağlayacak kadar U değerine sahip olabileceğini göstermektedir. Kategorilerin 1-2-3 arasında eşleşmesi ise U değerini arttıracak için mekanda enerjinin sürekli ısıtma veya soğutma gibi durumlarda yükü arttırmaktadır. Örneklerde ortaya çıkan bir diğer önemli konu yalıtım malzemeleri kalınlıklarıdır. Yalıtım malzemeleri sıcak iklimler için içeride hava birikmesi istenmediği için çok kalın kullanılmak yerine daha ince kullanımlar yapılabilir. Bu durumda mekanın enerji tasarrufu sağlamasına yardımcı olacaktır ancak Pasif Ev kriterlerine uymadığı için Neredeyse Pasif Ev / Pasif Ev'e yakın olarak bir başka isimle değerlendirilebilir.

TS 825'e göre kurallar bu elde edilen veriler ile birleştirildiğinde ise yalıtımın büyük bir etkisi olduğu hem kat yüksekliğine hem de mekan büyüklüğünde etkisi olduğunu göstermektedir. Tasarlanacak mekanın büyüklüğüne göre pencerelerde cam özelliğinin de değişebileceği ve en ideal formun oluşabilmesi için;

- Kat yüksekliğinin 10-15 metre olarak tasarlanması
- Pencere oranının büyüklüğüne göre çift cam veya büyük bir pencere alanı varsa üçlü cam kullanılması
- Tasarlanan yapıda duvar, taban döşeme ve çatı döşemenin yalıtımlı malzemeler ile kullanılması ve toplam U değerinin 0,15 ve altında bir değere sahip olacak şekilde malzeme seçimlerinin sağlanması
- Yalıtım iyi olduğu sürece yapı büyüklüğünde bir sınır olmayacağı, istenildiği takdirde büyüklüğün artabileceği ancak yine en verimlisinin en az metrekareye sahip olandan tercih yapılması gerektiği

- Güneye yönlendirilen binalarda her zaman enerji verimliliğinin daha fazla olacağı
- Çizelge 5.1’de oluşturulan kriterlere göre istenilen oranlarda bir cephe pencere tasarımı yapılacaksa havalandırmanın, gölgelendirme elemanlarının, bina yönlenmesinin ve kış ve yaz hava koşulları göz önüne alınarak tasarım yapılması gerektiği vurgulanmaktadır.

Tüm bu özelliklerin gerçekleşen ve işleme devam eden yapı üzerinde uygulanması sonucu maliyete olan etkisi için ön araştırma yapılmıştır. Antalya Muratpaşa Belediyesi Süleyman Erol Olimpik Yüzme Havuzu’nda inceleme yapılarak yapıda kullanılan malzemeler, yapı boyutu, kat yüksekliği, aylık elektrik ve doğal gaz giderleri incelenerek sinirsel bulanık mantık yöntemi ile elde edebileceğimiz ideal kapalı havuz tasarımı ile aynı konumda tekrar değerlendirmeye alınmıştır. Bu durumda eğer yapı malzemeleri, kat yüksekliği, binanın yönü sabit tutularak pencere oranları değiştirildiğinde ortaya çıkacak aylık gider maliyet tablosu Çizelge 5.15’teki gibi olmaktadır.

Harcanan enerjilerin temmuz ayından itibaren kasım ayına kadar hem elektrik hem de doğal gaz olarak incelendiği tabloda elektrik birim fiyatı ve doğal gaz birim fiyatı farklı olduğu için ısıtma ve soğutma giderlerini ayrı şekilde hesaplayarak kar yüzdesi incelenmektedir.

Çizelge 5.15. Maliyet Tablosu

Aylar	Günlük tüketim (kWh/gün)	Harcanan elektrik enerjisi (kWh/ay)	Harcanan doğal gaz enerjisi (kWh/ay)	Toplam harcanan enerji (kWh/ay)	Sinirsel bulanık mantık ile bulunan enerji ihtiyacı (kWh/ay)	2022 yılı Elektrik Birim fiyat (TL)	2022 yılı elektrikten aylık kar eden miktar (TL)	2022 yılı Doğal gaz Birim fiyat (TL)	2022 yılı doğal gazdan aylık kar eden miktar (TL)
Temmuz	3790,06	117492	-	117492	15876	2,638	268.063	0,581	-
Ağustos	5054,07	156676	29239	185915	25122	2,638	347.039	0,581	2.391
Eylül	3572,25	110740	78290	189030	26711	2,638	221.668	0,581	29.967
Ekim	3324,18	102041	157677	259718	36699	2,638	172.372	0,581	70.288
Kasım	3332,33	99970	317606	417576	59005	2,638	108.065	0,581	150.247

Pasif Ev konseptinin sıcak iklimler için uygulanmasında başarılı sonuç vereceği faturaya yansıyan kardan da belirlenmiştir. Faturayı ısıtmanın fazla olduğu aylarda yaklaşık yarı yarıya etkilediği sonucuna varılmıştır. Soğuk iklimlerde verim %90’a kadar

ıkarken sıcak iklimlerde kış aylarında enerji verimliliğini yaklaşık %50 sağlamaktadır.

Aylara göre:

- Temmuz enerji verimliliği: %13,5
- Ağustos enerji verimliliği: %16
- Eylül enerji verimliliği: %24,1
- Ekim enerji verimliliği: %36
- Kasım enerji verimliliği: %59

Böylece Pasif Ev konsepti kriterlerine uygun şekilde tasarım aşamasında bina özelliklerine karar vermek ve tasarım sürecinde bu etkilerden faydalanarak tasarımları yönlendirmek enerji tasarrufu sağlamanın bir yolu olacaktır.

Konu ile ilgili araştırma sonuçları ve örnek incelemeleri tezin kaynak taraması kısmında detaylı olarak sunulmaktadır. Bununla birlikte tez çalışması kapsamında yapılan literatür taramasından elde edilen veriler ışığında mimari planlama çerçevesinde enerji tasarrufunu sağlayabilecek faktörlerin bazı simülasyon programları yardımıyla verimlilik sağlayan örnek sonuçlar da bu kapsamda irdelenmektedir. Çalışmalarda elde edilen verilerin mimari tasarımda özellikle pencere duvar oranlarının etkisi fazla olması nedeniyle araştırma sonuçlarındaki oranların arasındaki değişimlere yönelik yapılmaktadır. Çalışmanın diğer etkileri olan malzeme katmanları ısı geçirgenlik değerlerinin en yüksek ve en düşük değerde olabilecek şekilde karşılaştırmaları yapılarak pencerelerin enerji tasarrufu için yönlenme ve büyüklükleri üzerine araştırma yapılmaya devam edilmektedir. Bu kapsamda tez çalışmasında elde edilen sonuçların malzemelerin bir araya gelmesi ve seçiminin sağlanması açısından yenilik olarak enerji tasarrufunun sağlanmasına farklı bakış açısı getirmektedir. Malzeme katmanlarının oluşumu ve pencere duvar oranları büyük oranda enerji tasarrufunu etkileyen faktörlerdendir. Bu nedenle binanın yapımından önce bu faktörlerin etkilerinin araştırılması ve gerçeğe yakın verilen toplanması için yapay zeka yöntemi olan sinirsel bulanık mantık tekniği kullanılması böyle uygulamalar için mimari tasarıma yön vermesi açısından ilk örneği oluşturmaktadır. Önceki çalışmaların veri toplama ve parametrelerin belirlenmesi açısından yardımcı olmakta ve deneysel olarak ölçümlenen verilerin sinirsel bulanık mantık tekniğinde kullanılması için önem taşımaktadır.

6. SONUÇLAR

Pasif Ev konsepti soğuk iklimlerde enerji tasarrufu sağlayabilmek için yalıtım malzemesi başta olmak üzere bazı kriterlere sahip olan inşaat konseptidir. Bu araştırma kapsamında hava sızdırmazlığı, yalıtım malzemesi kullanımı, havalandırmanın kullanımı, güneş kontrolü gibi kriterlere dikkat edilmesi gerektiği, Pasif Ev konsepti uygulanmış binalardan da elde edilen sonuçlar ve yapılan hesaplamalar doğrultusunda kanıtlanmaktadır. Bu inşaat konseptinin zamanla soğuk iklime sahip ülkelere kullanımlarının yaygınlaşması ile son 10 yılda sıcak ülkelere de denemeleri hem yeni binalarda hem de mevcutta var olan tarihi binaları restore ederek yapılmaya başlamıştır.

Türkiye’de ve dünyada sıcak iklime sahip bölgelerde maliyeti fazla olmasından dolayı yalıtım malzemesi kullanılmaması, binalarda ısıtma yükü fazla olmaması gerekçesinden dolayı uygulamaya gerek duyulmamaktadır. Sıcak iklimlere sahip ülkelere bakıldığında sıcak iklimin soğutma yükü fazla olması klima, soğutucu vb. mekanik sistemleri daha fazla çalıştırmaya ve ihtiyaç duyulan enerjinin artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle soğuk iklimler için enerji tasarrufu sağlayan inşaat konseptinin sıcak iklimler için de geçerli olup olmadığı araştırma kapsamında sorgulanmaktadır. Bu durumda Pasif Ev (Passivhaus) konseptinin sıcak iklimlerde uygulanması yoluyla enerji ihtiyacının azaltılması ve işletim masrafının düşürülmesine yönelik hesaplamalar ve bulgular araştırma sonucunda ortaya koyulmaktadır. Çalışma kapsamında sinirsel bulanık mantık yöntemi uygulanarak mimari tasarımda yapay zekanın tasarımcıyı hedeflenen parametreler çerçevesinde yönlendirebilmesi ve optimum sonuca ulaşılması hedeflenmektedir. Böylece, yapının kullanım aşamasında etkili olacak faktörlerin önceden belirlenmesi ve değerlendirilmesi açısından son derece önemli olan enerji tasarrufu sağlayan inşaat konseptinin karar aşamalarının tasarım aşamasındayken planlamaya dahil edilmesi mümkün olmaktadır. Araştırma sonuçları, hem Pasif Ev konseptinin sıcak iklimler için uygulanabilirliğinin mümkün olduğunu, hem de yapay zekanın mimari tasarımlarda çok kriterli seçim yapmakta kullanımlarının doğru sonuca ulaşılabilmesi açısından yöntem olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Sinirsel bulanık mantık yöntemi ile mimari tasarıma yön verme açısından literatürde örnek çalışma bulunmamaktadır. Sinirsel bulanık mantık ile iç mekanda ısı konforu, enerji tüketimi ve havalandırmaya yönelik çalışmalar ise 2003 yılından bu yana devam etmektedir. Tez için yapılan çalışma ile elde edilen sonuçlara göre mimari tasarımı yapı cephe tasarımında güneşin kontrolü, pencere boşlukları, kullanılacak malzemelerin ısı geçirgenlik değerlerine göre enerji tasarrufu sağlamasına yönelik çalışmaların yapılabileceğini göstermektedir. Bu şekilde mimari tasarımlara yapay zeka ile birlikte çalışılarak önerilerin geliştirilebileceği öngörülmektedir. Bu çalışmada enerji tasarrufu sağlayabilmek için seçilen Pasif Ev kriterlerinin etkisi ile birlikte kapalı havuz yapıları gibi işletim maliyetinin farklı fonksiyonlara sahip yapılara göre fazla olması önemli ölçüde maliyete etki edecektir. Bu çalışma ile yapı işletme masraflarında yaz ve kış dönemlerinde ısıtma ve soğutma yüklerine bağlı olarak harcanan elektrik, doğal gaz vb. ihtiyaçların azaltılabilmesinin Pasif Ev konseptinin uygulanması ile mümkün olabileceği sonucuna varılmıştır. Çalışma ile binanın enerji tasarrufu sağlayabileceği en verimli zamanların kış ayları olduğu sonucuna varılmıştır. Yaz aylarında beklenen enerji tasarrufu kış dönemi kadar olmasada faturaya etkisi bakımından yıllık kar oranı işletimi önemli ölçüde mali yükünü hafifletmektedir.

Yapının konumlandırılmasında güneşten faydayı en üst düzeyde sağlamak, ısınma ve aydınlatma gereksimlerini azaltmak için önemli bir faktördür. Aydınlatma olarak bir yarı olimpik kapalı havuzda ortalama 40 adet aydınlatma elemanına yer verilirse güneş alan bir bölgede gündüz kullanılan aydınlatma miktarını etkileyeceği için elektrik yükünü de etkilemiş olacaktır. Isınma ihtiyacını da etkileyen güneşin ayrıca iç mekanda ısıtma ihtiyacının azalmasına da etkisi olacaktır. Çalışmada elde edilen pencere ve duvar oranlarının güneşi alma miktarını doğrudan etkilemesi üzerine cephede yapılacak tasarım veya iç mekanda istenilen termal konforun da binanın konumlandırılmasına göre seçilebileceği bir sistem oluşturulmuştur. Bu duruma göre Akdeniz iklim koşullarına sahip bir bölgede yapılacak yarı olimpik havuz binasında tasarım aşamasında dikkat edilmesi gereken parametrelerin konuma göre alternatif bilgiler verebileceği ve enerji tasarrufunun sağlayabileceğini gösteren rehber bir çalışma bu tez çalışması ile oluşturulmuştur.

Malzeme seçimleri ve ısıl geçirgenlik değerleri yapı enerji tasarrufunda önemli bir parametredir. Bu kapsamda malzemelerin buhar difüzyonu katsayıları da dikkate alınarak tartışma bölümünde verilen yapı malzemelerinin ısıl geçirgenlik değerlerine göre seçim yapmak hem enerji tasarrufu yapabilmek hem de malzemelerde iç mekanda oluşacak buhar nedeniyle küf oluşumuna engel olmasını sağlayacaktır.

Mimari tasarımlarda, yapılarda güneş, rüzgar ve suyun tasarrufunu sağlayabilmek adına günümüz koşullarında iklim krizi farkındalığının bilincinde olarak insanın yaşadığı her alanda enerji etkin yapıların uygulanması için büyük adımlar atılması gereklidir. Mimari perspektiften düzenlemeler yaparak çevreyi bozmadan katkı sağlayabilmek ve sürdürülebilir tasarım ile kendini yenileyebilen enerji kaynakları kullanılmasını desteklemek önemlidir. Binaların tasarımında bu faktörler ele alınmadığında yapının kullanım aşamasında işletim masraflarının artması aynı zamanda kullanılan fosil yakıtlarla çevreyi kirletmeye ve ekolojik dengeyi bozmaya sebep olmaktadır. Bu anlamda yeni yapılacak kapalı havuz tasarımlarında yapı strüktürünü ve tasarıma etkisi araştırılarak fotovoltaik panellerin bahçe otopark veya bina üzerinde çatının bir bölümüne yerleştirilmesi ile bina elektrik ihtiyaçlarını güneşten sağlamak mümkün olabilmektedir. Doğal havalandırmanın sağlanması ile özellikle Akdeniz ikliminde bahar dönemleri camların açılabilir olması, iç mekanda fazla ısının birikmesini ve iklimlendirme elemanlarının kullanımlarının azalmasına yardımcı olabilmektedir. Yapılarda enerji tasarrufu sağlayabilmenin yanı sıra kapalı havuzlarda dikkat edilmesi gereken bir diğer konu su tüketimidir. Günlük su kullanımı diğer binalardan farklı olan kapalı havuzlarda suyun temizlenmesi için klor yerine bakır-gümüş dezenfeksiyon sistemi kullanılması hem yosunlaşmayı engellemekte hem de bakterileri öldürmektedir. Bu şekilde temizlenen havuzların su atıkları her gün 30-50 ton arası kullanılamayan çöp atık olarak değerlendirilememektedir. Kapalı havuz yapılarında her gün çıkan bu su miktarının içerisinde bakır ve gümüşün bitkilere yararlı olması nedeniyle peyzaj sulaması için kullanılması, belediyenin park bahçe sulamalarında da kapalı havuzlardan temin edilen suyun kullanılması ile suyun tasarrufunu bölgesel olarak da sağlanabileceği öngörülmektedir. Bunun için yapı tasarımına depo alanlarının eklenmesi bahçe altına veya bina bodrum katına depo alanı tasarlanması suyun geri dönüştürülebilmesini sağlayacaktır. Böylece yapının sürdürülebilir olması ve geri dönüştürülebilir kaynaklarla kapalı havuz yapısının daha da enerji verimliliğini sağlayabileceği bir yapı halinde tasarlanması mümkündür.

Bu tez çalışması ile literatüre katkı sağlayacak sinirsel bulanık mantık yöntemi üzerine mimari tasarım alanında yapılan örnek ve Pasif Ev konseptine sahip sıcak iklimler için uygulama yapılmaya hazır yarı olimpik kapalı havuz tasarımına yönelik rehber oluşturulmuştur. Çalışmanın yapılacak bir kapalı havuz yapısı için akdeniz iklim koşulları göz önüne alınarak en az düzeyde enerji kullanımı sağlayabilecek özellikler bir araya getirilerek yapım öncesi tahmin ile yapay zeka yönteminin sinirsel bulanık mantık tekniği ile uygulanmasının tasarım aşamasında mimarlara da çok kriterli seçimlerde yardımcı olabileceği belirlenmiştir.





7. KAYNAKLAR

- Ak, M. F. 2017. İş sağlığı ve güvenliğinde sinirsel bulanık mantık yaklaşımı kullanılarak risk değerlendirmesi. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 129 s.
- Akbulut. U., Kıncay, O. ve Köşker, F. 2006. Güneş Enerjisinin Kapalı Olimpik Yüzme Havuzlarında Kullanımı (I). *Tesisat Mühendisliği Dergisi*. 96(1): 11-20.
- Alasha'ary, H., Moghtaderi, B., Page, A., ve Sugo, H. 2009. A neuro-fuzzy model for prediction of the indoor temperature in typical Australian residential buildings. *Energy and Buildings*, 41(7): 703-710.
- Alıca, S. S. 2011. Çevresel Etki Değerlendirmesinin Yargı Kararları Çerçevesinde İrdelenmesi. *Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi*, 15(3): 97-130.
- Andrade, A., ve Dominski, F. H. 2018. Indoor air quality of environments used for physical exercise and sports practice: Systematic review. *Journal of environmental management*, 206(1): 577-586.
- Anonim 1: Isı Kayıpları Ve Köprüleri. <https://www.merks.com.tr/urun/isi-kayıplari-ve-kopruleri/> [Son erişim tarihi: 13.01.2023].
- Anonim 2: Olimpik havuz ölçüleri. <https://www.havuz-market.com/blog/icerik/olimpik-havuz-olculeri#:~:text=Bu%20%C3%B6l%20m%C3%BCler%2025%20m%20geni%C5%9Fl%C4%9Fi,m%20geni%C5%9Fl%C4%9Finde%2010%20kulvar%20bulunur> [Son erişim tarihi: 13.01.2023].
- Anonim 3: Sağlık Bakanlığı. 2010. <https://saglik.gov.tr/Eklenti/1176,havuz-suyu-genelgesipdf.pdf?> [Son erişim tarihi: 13.01.2023].
- Anonim 4: Argon Gazlı Pencerelelerinin Maliyeti Avantajları ve Dezavantajları. <https://www.aga.com.tr/argon-gazli-pencerelerinin-maliyeti-avantajlari-ve-dezavantajlari/> [Son erişim tarihi: 27.12.2022].
- Anonim 5: Olimpik yüzme havuzu https://tr.wikipedia.org/wiki/Olimpik_y%C3%BCzme_havuzu
- Anonim 6: Bina Yalıtımı https://tr.wikipedia.org/wiki/Bina_yal%C4%B1t%C4%B1m%C4%B1 [Son erişim tarihi: 27.12.2022].
- Anonim 7: Pasif Ev Nedir? <https://sepev.org/pasif-ev-nedir/> [Son erişim tarihi: 14.01.2023].
- Anonymous 1: What is a thermal bridge?. <https://www.schoeck.com/en-gb/thermal-bridging> [Son erişim tarihi: 13.01.2023].
- Anonymous 10: What is a Passive House?. https://passipedia.org/basics/what_is_a_passive_house [Son erişim tarihi: 13.01.2023].
- Anonymous 11: Directive on the energy performance of buildings https://en.wikipedia.org/wiki/Directive_on_the_energy_performance_of_buildings [Son erişim tarihi: 13.01.2023].

- Anonymous 12: The Passive House Resource, Basics. <https://passipedia.org/basics> [Son erişim tarihi: 13.01.2023].
- Anonymous 13: Global Energy & CO2 Status Report 2019, IEA, Paris. <https://www.iea.org/reports/global-energy-co2-status-report-2019> [Son erişim tarihi: 13.01.2023].
- Anonymous 14: ASHRAE Handbook - HVAC Applications. <https://www.ashrae.org/technical-resources/ashrae-handbook> [Son erişim tarihi: 13.01.2023].
- Anonymous 15: Low temperature heating systems. REUR Technical Series (FAO). https://www.iea-ebc.org/Data/publications/EBC_Annex_37_lowex-cases_brochure.pdf [Son erişim tarihi: 13.01.2023].
- Anonymous 16: Policy Options Politiques. <https://policyoptions.irpp.org/magazines/june-2022/inefficient-building-energy-regulations/> [Son erişim tarihi: 13.01.2023].
- Anonymous 17: Innovation Challenges Handbook, Greenstar. <https://www.gbca.org.au/uploads/68/34884/Building%20Air%20Tightness.pdf>
- Anonymous 18: Comfort Termico <https://www.bioclimatek.com/comfort-termico/> [Son erişim tarihi: 14.01.2023].
- Anonymous 19: O Inverno chegou, a pergunta é: Capa térmica para piscina, vale a pena? <https://www.sladefitness.com.br/blog/capa-termica-para-piscina-vale-a-pena/> [Son erişim tarihi: 14.01.2023].
- Anonymous 20: Athletic Facilities <https://library.brown.edu/exhibits/archive/sports/facilities.html> [Son erişim tarihi: 14.01.2023].
- Anonymous 21: Passive House Database <https://passivehouse-database.org/index.php?lang=en> [Son erişim tarihi: 14.01.2023].
- Anonymous 2: How to replace door frame. <https://www.angi.com/articles/how-to-replace-door-frame.htm> [Son erişim tarihi: 23.12.2022].
- Anonymous 3: International Network for Information on Ventilation and Energy Performance (INIVE). <https://www.inive.org/resources/faqs/what-way-get-good-airtightness-building-contractor-craftsman> [Son erişim tarihi: 13.01.2023].
- Anonymous 4: Zero-Energy Design: an approach to make your building sustainable <https://www.edx.org/course/zero-energy-design-an-approach-to-make-your-buildi> [Son erişim tarihi: 01.04.2022].
- Anonymous 5: Planning guidelines for Passive House indoor swimming pools https://passivehouse.com/05_service/03_literature/030306_indoor-swimming-pool.htm [Son erişim tarihi: 13.01.2023].
- Anonymous 6: European Commission. Nearly zero energy buildings. https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/nearly-zero-energy-buildings_en [Son erişim tarihi: 13.01.2023].
- Anonymous 7: The world's first Passive House, Darmstadt-Kranichstein, Germany. https://passipedia.org/examples/residential_buildings/multi-

- family_buildings/central_europe/the_world_s_first_passive_house_darmstadt-
kranichstein_germany [Son erişim tarihi: 13.01.2023].
- Anonymous 8: How much energy does the average swimming pool use
<https://pooledenergy.com.au/how-much-energy-does-the-average-swimming-pooluse/#:~:text=Pool%20energy%20consumption%20ranges%20from,your%20opressure%20cleaners%20and%20heaters.> [Son erişim tarihi: 02.11.2022].
- Anonymous 9: Everybody into Alvar Aalto's Historic Indoor Pools!
<https://www.architecturaldigest.com/story/alvar-aalto-aquatic-center-finland-article> [Son erişim tarihi: 13.01.2023].
- Antoniou, K., Axarli, K., ve Meresi, A. 2012. International Conference on Architectural Research ICAR 2012, pp.1-10, May International Conference on Architectural Research, Romania.
- Arıcı, M. ve Seçilmiş, M. 2007. Kapalı Yüzme Havuzlarının Nem Kontrolü ve Ekonomik Olarak İklimlendirilmesi. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*. 98(1): 7-18.
- Banaei, M., Ahmadi, A., ve Yazdanfar, A. 2017. Application of AI methods in the clustering of architecture interior forms. *Frontiers of Architectural Research*, 6(3): 360-373.
- Chandel, S. S., Sharma, A., ve Marwaha, B. M. 2016. Review of energy efficiency initiatives and regulations for residential buildings in India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 1443-1458.
- Chen Austin, M., Chung-Camargo, K., ve Mora, D. 2021. Review of Zero Energy Building Concept-Definition and Developments in Latin America: A Framework Definition for Application in Panama. *Energies*, 14(18), 5647.
- Chiesa, G., Acquaviva, A., Grosso, M., Bottaccioli, L., Floridia, M., Pristeri, E., ve Sanna, E. M. 2019. Parametric optimization of window-to-wall ratio for passive buildings adopting a scripting methodology to dynamic-energy simulation. *Sustainability*, 11(11), 3078.
- Ciuman, P., ve Kaczmarczyk, J. 2021. Numerical analysis of the energy consumption of ventilation processes in the school swimming pool. *Energies*, 14(4), 1023.
- Coelho, D., Valdez, M., ve Oliveira, C. 2016. Energy efficiency in municipal facilities: Appraisal of interior lighting systems. 51st International Universities Power Engineering Conference (UPEC), pp. 1-6, IEEE.
- Çalapkulu, S. 2020. Sıfır Enerjili Bina (nnZEB) Nedir, Nasıl Yapılır?
<https://www.sektorumdergisi.com/sifir-enerjili-bina-nnzeb-nedir-nasil-yapilir/>
[Son erişim tarihi: 13.01.2023].
- Dixon, J. R., Simmons, M. K., ve Cohen, P. R. 1984. An architecture for application of artificial intelligence to design. In 21st Design Automation Conference Proceedings, pp. 634-640. IEEE.
- Doğan, O. 2016. Uyarlamalı sinirsel bulanık çıkarım sisteminin (ANFIS) talep tahmini için kullanımı ve bir uygulama. *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 31(1): 257-288.
- dos Santos Fernandes, C. A., Amado, J. A. A., Pires, L. C. C., ve da Silva, P. N. D. P.

2015. Medidas de Redução de Consumos Energéticos em Piscinas Públicas: Estudo de Caso. In Proceedings of the International Conference on Engineering: ICEUBI2015 Engineering for Society, Covilha, Portugal, 2-4 December, pp. 1331-1343. Universidade da Beira Interior (UBI).
- Economidou, M., Todeschi, V., Bertoldi, P., D'Agostino, D., Zangheri, P., ve Castellazzi, L. 2020. Review of 50 years of EU energy efficiency policies for buildings. *Energy and Buildings*, 225, 110322.
- Ekici, B. B., ve Aksoy, U. T. 2011. Prediction of building energy needs in early stage of design by using ANFIS. *Expert Systems with Applications*, 38(5): 5352-5358.
- Esbensen, T. V., ve Korsgaard, V. 1977. Dimensioning of the solar heating system in the zero energy house in Denmark. *Solar Energy*, 19(2): 195-199.
- Faché, W. 1989. Innovative Indoor Water-Leisure Centres In Temperate Countries. *Loisir et Société/Society and Leisure*, 12(2): 341-359.
- Fantozzi, F., ve Lamberti, G. 2019. Determination of thermal comfort in indoor sport facilities located in moderate environments: An overview. *Atmosphere*, 10(12), 769.
- Feist, W., Schnieders, J., Dorer, V. ve Haas, A. 2005. Re-inventing air heating: convenient and comfortable within the frame of the Passive House concept. *Energy Build.* 37(11): 1186-1203. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2005.06.020>
- Ferreira, P.M., Ruano, A.E., Silva, S. ve Conceição, E.Z.E. 2012. Neural networks based predictive control for thermal comfort and energy savings in public buildings. *Energy and Buildings*, 55(1): 238-251, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.08.002>.
- Figueiredo, A., Figueira, J., Vicente, R., ve Maio, R. 2016. Thermal comfort and energy performance: Sensitivity analysis to apply the Passive House concept to the Portuguese climate. *Building and Environment*, 103(1): 276-288.
- Fischer, T.A., 1992. Principles of Environmental Architecture, AIA, USA. <https://www.breathe.com.au/guides/houses/principles-of-sustainable-architecture> [Son erişim tarihi: 13.01.2023].
- Gabrielsen, M. A. 1972. Swimming Pools; a Guide to their Planning, Design and Operation, Council for National Cooperation in Aquatics, Fort Lauderdale, FL, 1969, 328 p.
- GhaffarianHoseini, A., Dahlan, N. D., Berardi, U., GhaffarianHoseini, A., Makaremi, N., ve GhaffarianHoseini, M. 2013. Sustainable energy performances of green buildings: A review of current theories, implementations and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25(1): 1-17.
- Jones, H. A. 1930. The Status of Equipment in Athletic, Health, and Physical-Education Departments of One Hundred High Schools in the United States. *The School Review*, 38(1): 55-60
- Han, S. K., ve Shin, D. Y. 2021. A Study on Architectural Image Generation using Artificial Intelligence Algorithm-A Fundamental Study on the Generation of Due Diligence Images Based on Architectural Sketch. *Journal of KIBIM*, 11(2): 54-59.

- Harjunowibowo, D., Prasetyo, R. A. B., Ahmadi, F., Rahman, T., Wirabuana, R. N., & Zeinelabdein, R. (2019). Improving thermal performance of dwelling single glass windows using secondary glazing in the UK. *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol.*, 9(1): 1148-53.
- Hayles, C. S. 2015. Environmentally sustainable interior design: A snapshot of current supply of and demand for green, sustainable or Fair Trade products for interior design practice. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 4(1): 100-108.
- Heperkan, H. A., Bircan, M. M. ve Sevindir, M. K. 2001. Yapı Malzemelerinde Buhar Difüzyonu ve Yoğuşma. In V. National HVAC and Sanitary Engineering Conference ss. 461-470, 3-6 Ekim, İzmir.
- Huang, W., Li, F., Cui, S. H., Huang, L., ve Lin, J. Y. 2017. Carbon footprint and carbon emission reduction of urban buildings: a case in Xiamen City, China. *Procedia engineering*, 198(1): 1007-1017.
- İMSAD. 2015. Yeni Yapı Malzemeleri Yönetmeliği Rehber Kitap. [https://endeks.imsad.org/files/fileman/Uploads/Files/Yeni%20Yapi%20Malzemeleri_\(26.08.31-5\).pdf](https://endeks.imsad.org/files/fileman/Uploads/Files/Yeni%20Yapi%20Malzemeleri_(26.08.31-5).pdf) [Son erişim tarihi: 13.01.2023].
- İnan, T. ve Başaran, T. 2014. Çift Cidarlı Cepheler Üzerine Bir Araştırma. *Megaron*, 9(2): 132-142. <https://doi.org/10.5505/MEGARON.2014.91885>
- Jang, J. S. 1993. ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system. *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*, 23(3), 665-685.
- Kampel, W., Aas, B. ve Bruland, A. 2013. Energy-use in Norwegian swimming halls. *Energy and Buildings*, 59(1): 181-186, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.11.011>.
- Kampel, W., Aas, B. ve Bruland, A. 2014. Characteristics of energy-efficient swimming facilities—A case study. *Energy*, 75(1): 508-512.
- Kang, M., ve Guerin, D. A. 2009. The characteristics of interior designers who practice environmentally sustainable interior design. *Environment and Behavior*, 41(2): 170-184.
- Katsaprakakis, D. 2015. Comparison of swimming pools alternative passive and active heating systems based on renewable energy sources in Southern Europe. *Energy*, 81(1): 738-753, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.01.019>.
- Kawasaki, T., ve Kawai, S. (2006). Thermal insulation properties of wood-based sandwich panel for use as structural insulated walls and floors. *Journal of wood science*, 52(1), 75-83.
- Khalfan, M. 2017. An Assessment Of The Passivhaus Standard For A Hot And Arid Climate: A Case Study In Qatar. PhD Thesis, University of London, London, 259 p.
- Kołodziejczyk-Kęsoń, A. 2021. Comparison of conventional and passive public utility buildings in Poland. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 1203(2) 022035, IOP Publishing.
- Laustsen, J. 2008. Energy efficiency requirements in building codes, energy efficiency

- policies for new buildings. IEA Information Paper. <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-requirements-in-building-codes-policies-for-new-buildings> [Son erişim tarihi: 13.01.2023].
- Le, H. T., ve Nguyen, T. T. 2021. ANFIS for building cooling load estimation. In AIP Conference Proceedings. 2420 (1), 020015). AIP Publishing LLC.
- Lei, Q. 2010. Theoretical discussion on energy saving technology of building roof. *Jiangxi Build. Mater.*, (1): 24-25.
- Lewi, H. 2019. Public swimming pools in Australia. *Docomomo Journal*, (60): 8-15.
- Limane, A., Fellouah, H. ve Galanis, N. 2018. Three-dimensional OpenFOAM simulation to evaluate the thermal comfort of occupants, indoor air quality and heat losses inside an indoor swimming pool. *Energy and Buildings*, 167(1), 49-68.
- López-Pérez, L. A., ve José Jassón, F. P. Energy Savings Comparative in Tropical Climate Educational Building by Adaptive Thermal Comfort Approach and Artificial Intelligence. *SSRN*. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4076993>
- Marino, C., Nucara, A., ve Pietrafesa, M. 2017. Does window-to-wall ratio have a significant effect on the energy consumption of buildings? A parametric analysis in Italian climate conditions. *Journal of Building Engineering*, 13(1): 169-183.
- Marszal, A. J., Heiselberg, P., Bourrelle, J. S., Musall, E., Voss, K., Sartori, I., ve Napolitano, A. 2011. Zero Energy Building—A review of definitions and calculation methodologies. *Energy and Buildings*, 43(4): 971-979.
- Marvuglia, A., Messineo, A. ve Nicolosi, G. 2014. Coupling a neural network temperature predictor and a fuzzy logic controller to perform thermal comfort regulation in an office building. *Building and Environment*, 72(1); 287-299, ISSN 0360-1323, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.10.020>.
- Mistry, D. A., Dheeraj, B., Gautham, R., Meena M. S. ve Mikkili, S. 2014. Power Quality Improvement Using PI and Fuzzy Logic Controllers Based Shunt Active Filter. *International Journal of Electronics and Communication Engineering*, 8(4): 661-670.
- Monahan, J. 2013. Housing and carbon reduction: Can mainstream ‘eco-housing’ deliver on its low carbon promises? PhD Thesis, University of East Anglia, Norwich, 271 p.
- Moreno-Rangel, A. 2020. Passivhaus. *Encyclopedia*, 1(1): 20-29.
- Oflazoğlu, Z. 2013. Mimari tasarım yaklaşımı olarak sıfır enerji bina kavramı ve ülkemizde uygulanabilirliği üzerine bir araştırma. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 152 s.
- Olanrewaju, O. I., Enegbuma, W. I., Donn, M., ve Chileshe, N. 2022. Building information modelling and green building certification systems: A systematic literature review and gap spotting. *Sustainable Cities and Society*, 81, 103865.
- Olsen, K. 2007. Clear waters and a green gas: a history of chlorine as a swimming pool sanitizer in the United States. *Bull. Hist. Chem*, 32(2): 129-140.
- Özdemir, E., ve Kılıç, S. 2011. 2008 Küresel Ekonomik Krizi ve İnşaat Sektörü: Pazarlama Açısından Bir Alan Araştırması. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler*

Dergisi, 11(2): 43-68

- Özer, G. 2019. Endüstriyel Alanların Enerji Performanslı Tasarlanmasına Yönelik Bir Model Yaklaşımı; Konya Oto Sanayi Yerleşkesi Örneği. Doktora Tezi, Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 142 s.
- Özkan, F. 2022 . Prediction of long-term streamflow by using adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS). Master thesis, Hasan Kalyoncu University Graduate School Of Natural & Applied Sciences, Gaziantep, 109 p.
- Panagiotidou, M., ve Fuller, R. J. 2013. Progress in ZEBs—A review of definitions, policies and construction activity. *Energy Policy*, 62(1): 196-206.
- Passive House Institute. 2015. Criteria for the Passive House, EnerPHit and PHI Low Energy Building Standard, Darmstadt, Germany.
- Peker, S. M. 2018. Yüzme havuzlarının havalandırması ve ısı geri kazanımının enerji verimliliğine etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 91 s.
- Pérez-Carramiñana, C., Maciá-Mateu, A., Sirvent-García, G., ve Lledó-Llorca, I. 2022. Study of Natural Ventilation and Solar Control Strategies to Improve Energy Efficiency and Environmental Quality in Glazed Heated Swimming Pools in a Dry Mediterranean Climate. *Sustainability*, 14(14), 8243.
- Peterson, K., Torcellini, P., Grant, R., Taylor, C., Punjabi, S., Diamond, R., Colker, R., Moy, G. ve Kennett, E. 2015. A Common Definition for Zero Energy Buildings. https://www.energy.gov/sites/default/files/2015/09/f26/bto_common_definition_zero_energy_buildings_093015.pdf [Son erişim tarihi: 13.01.2023].
- Piccinini, G. 2004. The First computational theory of mind and brain: a close look at mcculloch and pitts's "logical calculus of ideas immanent in nervous activity. *Synthese*, 141(2): 175-215.
- Resmi Gazete. 2008. Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2008/12/20081205-9.htm> [Son erişim tarihi: 13.01.2023].
- Resmi Gazete. 2008. Binalarda Isı Yalıtım Yönetmeliği <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2008/10/20081009-2.htm> [Son erişim tarihi: 13.01.2023].
- Resmi Gazete. 2013. Yapı Malzemeleri Yönetmeliği <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2013/07/20130710-10.htm> [Son erişim tarihi: 13.01.2023].
- Ribeiro, E. M., Jorge, H. M. ve Quintela, D. A. 2016. An approach to optimised control of HVAC systems in indoor swimming pools. *International Journal of Sustainable Energy*, 35(1): 378-395. <https://doi.org/10.1080/14786451.2014.907293>
- Ricketts, L., Finch, G., ve Straube, J. 2015. Pressure differences and airtightness in tall buildings—theory & Reality. In Proceedings of the Fourth NIBS Building Enclosure Science Technology Conference, pp. 13-15, Kansas City, MO, USA.
- Rojas, G., ve Grove-Smith, J. 2018. Improving Ventilation Efficiency for a Highly

- Energy Efficient Indoor Swimming Pool Using CFD Simulations. *Fluids*, 3(92): 1-20. doi:10.3390/fluids3040092
- Saari, A., ve Sekki, T. 2008. Energy consumption of a public swimming bath. *The Open Construction & Building Technology Journal*, 2(1).
- Santamouris, M. 2007. Heat island research in Europe: the state of the art. *Advances in building energy research*, 1(1): 123-150.
- Schnieders, J., Feist, W., Pfluger, R. ve Kah, O. 2001. Wissenschaftliche Begleitung und Auswertung, Endbericht. CEPHEUS, 22, Fachinformation PHI 2001/9, Passivhaus Institut, Darmstadt.
- Sfakianaki, A., Pavlou, K., Santamouris, M., Livada, I., Assimakopoulos, M. N., Mantas, P., ve Christakopoulos, A. 2008. Air tightness measurements of residential houses in Athens, Greece. *Building and Environment*, 43(4): 398-405.
- Singhaputtangkul, N., Low, S. P., ve Teo, A. L. 2011. Integrating sustainability and buildability requirements in building envelopes. *Facilities*. 29(5): 255-267. Doi: 10.1108/026327711111120556
- Sissine, F. 2007. Energy Independence and Security Act of 2007: a summary of major provisions. Library of Congress Washington DC Congressional Research Service. No: RL34294, Washington.
- Sobhi, M., Fayad, M. A., Al Jubori, A. M., ve Badawy, T. 2022. Impact of spectators attendance on thermal ambience and water evaporation rate in an expansive competitive indoor swimming pool. *Case Studies in Thermal Engineering*, 38(1): 1-13, 102359. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2022.102359>.
- Söğüt, Z., Karakoc, T. ve Özcan, M. 2015. Kapalı Yüzme Havuzlarında Enerji Yönetimi. 2. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, ss. 2937-2949, 8-11 Nisan 2015, İzmir.
- Sun, P., Wu, J. Y., Wang, R. Z., ve Xu, Y. X. 2011. Analysis of indoor environmental conditions and heat pump energy supply systems in indoor swimming pools. *Energy and Buildings*, 43(5): 1071-1080.
- Taylan, O., Alkabaa, A. S., Alamoudi, M., Basahel, A., Balubaid, M., Andejany, M., ve Alidrisi, H. 2021. Air Quality Modeling for Sustainable Clean Environment Using ANFIS and Machine Learning Approaches. *Atmosphere*, 12(6): 713.
- Trianti-Stourna, E., Spyropoulou, K., Theofylaktos, C., Drousa, K., Balaras, C. A., Santamouris, M. ve Papanikolaou, N. 1998. Energy conservation strategies for sports centers: Part B. Swimming pools. *Energy and Buildings*, 27(2): 123-135.
- TS 825. 2008. Binalarda Isı Yalıtım kuralları Standardı <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2008/08/20080826-7.htm> [Son erişim tarihi: 13.01.2023].
- Valiyev A., Imamguluyev R., ve Ilkin G. 2021. Application of Fuzzy Logic Model for Daylight Evaluation in Computer Aided Interior Design Areas. 14th International Conference on Theory and Application of Fuzzy Systems and Soft Computing – ICAFS-2020, ss. 715-722, 5 Ocak, Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-64058-3_89.
- Wang, W., Rivard, H. and Zmeureanu, R. 2006. Floor shape optimization for green

- building design. *Advanced Engineering Informatics*, 20(4): 363-78.
- Wilberforce, T., Olabi, A. G., Sayed, E. T., Elsaid, K., Maghrabie, H. M., ve Abdelkareem, M. A. 2023. A review on zero energy buildings–Pros and cons. *Energy and Built Environment*, 4(1): 25-38. <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2021.06.002>
- Xue, P., Li, Q., Xie, J., Zhao, M., ve Liu, J. 2019. Optimization of window-to-wall ratio with sunshades in China low latitude region considering daylighting and energy saving requirements. *Applied Energy*, 233(1): 62-70.
- Yağlı, S. 2019. Teknolojik Gelişmelerin Etkisi İle Yüzeylerde Malzeme Kullanımı: Akıllı Malzemeler. Yüksek Lisans, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 222 s.
- Yalkı, H. 2001. Mimarlıkta yapay zeka kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 72 s.
- Yıldırım, B. ve Demirarslan, D. 2020. İç Mimarlıkta Yapay Zekâ Uygulamalarının Tasarım Sürecine Faydalarının Değerlendirilmesi. *Humanities Sciences*, 15(2):62-80.
- Yıldız, B. ve Aktaş, B. 2017. Mimari Tasarım Sürecinde Karar Verme: Bulanık Mantık Tabanlı Cephe Modeli Önerisi. 11. Mimarlıkta Sayısal Tasarım Ulusal Sempozyumu. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, ss.173-181, 14-15 Haziran 2017, Ankara.
- Yılmaz, A. 2017. Yapay Zeka. Kodlab, İstanbul, 384 s.
- Yılmaz, H., Yıldırım, K. ve Hidayetoglu, M. L. 2022. The effect of carrier system materials used in an Olympic swimming pool on the perceptual evaluations of respondents. *Facilities*, 40(9/10): 675-695. <https://doi.org/10.1108/F-11-2021-0117>.
- Yu, J., Yang, C. and Tian, L. 2008. Low-energy envelope design of residential building in hot summer and cold winter zone in China, *Energy and Buildings*, 40(8):1536-1546.
- Yuce, B., Li, H., Rezgui, Y., Petri, I., Jayan, B., ve Yang, C. 2014. Utilizing artificial neural network to predict energy consumption and thermal comfort level: An indoor swimming pool case study. *Energy and Buildings*. 80(1): 45-56, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.04.052>.
- Yücel, A. 2010. Tedarikçi seçimi probleminde bütünleşik sinirsel bulanık mantık yaklaşımı. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 135 s.
- Zadeh, L. A. 1965. Information and control. Fuzzy sets 8(3): 338-353.
- Zhang, G., Patuwo, B. E., ve Hu, M. Y. 1998. Forecasting with artificial neural networks:: The state of the art. *International journal of forecasting*, 14(1): 35-62.
- Zhou, Y. 2021. Sketch with Artificial Intelligence (AI)-A Multimodal AI Approach for Conceptual Design. Master Thesis, University of Hawai'i, Manoa, 101 p.
- Zolfaghari, Z., ve Jones, J. 2022. A multi-variable building energy optimization: assessing the role of energy efficient lighting technology in changing the optimal window-to-wall ratio in an office building. *International Journal of Sustainable Energy*, 41(11): 1819-1835.



8. EKLER**EK-1.** Gruplanan girdilerden ilki için normalize edilen eğitim verileri

Sıcaklık	Pencere	Havalandırma	Gölgelendirme	Yön	PDO
0,33	1	0	0	0,2	0,277777777777778
0,33	1	0	0	0,1	0,555555555555556
0,33	1	0	0	0,3	0,388888888888889
0,33	1	0	0	0,4	0,333333333333333
0,33	1	1	0	0,2	0,277777777777778
0,33	1	1	0	0,1	0,444444444444444
0,33	1	1	0	0,3	0,388888888888889
0,33	1	1	0	0,4	0,333333333333333
0,33	1	0	1	0,2	0,222222222222222
0,33	1	0	1	0,1	0,277777777777778
0,33	1	0	1	0,3	0,222222222222222
0,33	1	0	1	0,4	0,222222222222222
0,33	1	1	1	0,2	0,222222222222222
0,33	1	1	1	0,1	0,166666666666667
0,33	1	1	1	0,3	0,166666666666667
0,33	1	1	1	0,4	0,166666666666667

EK-1.'in devamı

0,33	0,65	0	0	0,2	0,277777777777778
0,33	0,65	0	0	0,1	0,555555555555556
0,33	0,65	0	0	0,3	0,333333333333333
0,33	0,65	0	0	0,4	0,277777777777778
0,33	0,65	1	0	0,2	0,277777777777778
0,33	0,65	1	0	0,1	0,333333333333333
0,33	0,65	1	0	0,3	0,277777777777778
0,33	0,65	1	0	0,4	0,277777777777778
0,33	0,65	0	1	0,2	0,222222222222222
0,33	0,65	0	1	0,1	0,333333333333333
0,33	0,65	0	1	0,3	0,222222222222222
0,33	0,65	0	1	0,4	0,222222222222222
0,33	0,65	1	1	0,2	0,222222222222222
0,33	0,65	1	1	0,1	0,222222222222222
0,33	0,65	1	1	0,3	0,222222222222222
0,33	0,65	1	1	0,4	0,166666666666667
0,33	0,02	0	0	0,2	1

EK-1.'in devamı

0,33	0,02	0	0	0,1	1
0,33	0,02	0	0	0,3	1
0,33	0,02	0	0	0,4	1
0,33	0,02	1	0	0,2	0,777777777777778
0,33	0,02	1	0	0,1	0,555555555555556
0,33	0,02	1	0	0,3	0,555555555555556
0,33	0,02	1	0	0,4	0,444444444444444
0,33	0,02	0	1	0,2	0,555555555555556
0,33	0,02	0	1	0,1	0,722222222222222
0,33	0,02	0	1	0,3	0,611111111111111
0,33	0,02	0	1	0,4	0,611111111111111
0,33	0,02	1	1	0,2	0,388888888888889
0,33	0,02	1	1	0,1	0,333333333333333
0,33	0,02	1	1	0,3	0,333333333333333
0,33	0,02	1	1	0,4	0,277777777777778
0,83	1	0	0	0,2	0,722222222222222
0,83	1	0	0	0,1	0,944444444444444

EK-1.'in devamı

0,83	1	0	0	0,3	0,722222222222222
0,83	1	0	0	0,4	0,722222222222222
0,83	1	1	0	0,2	0,722222222222222
0,83	1	1	0	0,1	0,888888888888889
0,83	1	1	0	0,3	0,722222222222222
0,83	1	1	0	0,4	0,666666666666667
0,83	1	0	1	0,2	0,277777777777778
0,83	1	0	1	0,1	0,222222222222222
0,83	1	0	1	0,3	0,222222222222222
0,83	1	0	1	0,4	0,166666666666667
0,83	1	1	1	0,2	0,222222222222222
0,83	1	1	1	0,1	0,222222222222222
0,83	1	1	1	0,3	0,222222222222222
0,83	1	1	1	0,4	0,166666666666667
0,83	0,65	0	0	0,2	0,611111111111111
0,83	0,65	0	0	0,1	0,888888888888889
0,83	0,65	0	0	0,3	0,611111111111111

EK-1.'in devamı

0,83	0,65	0	0	0,4	0,555555555555556
0,83	0,65	1	0	0,2	0,555555555555556
0,83	0,65	1	0	0,1	0,611111111111111
0,83	0,65	1	0	0,3	0,5
0,83	0,65	1	0	0,4	0,444444444444444
0,83	0,65	0	1	0,2	0,333333333333333
0,83	0,65	0	1	0,1	0,388888888888889
0,83	0,65	0	1	0,3	0,277777777777778
0,83	0,65	0	1	0,4	0,222222222222222
0,83	0,65	1	1	0,2	0,277777777777778
0,83	0,65	1	1	0,1	0,277777777777778
0,83	0,65	1	1	0,3	0,222222222222222
0,83	0,65	1	1	0,4	0,166666666666667
0,83	0,02	0	0	0,2	1
0,83	0,02	0	0	0,1	1
0,83	0,02	0	0	0,3	1
0,83	0,02	0	0	0,4	1

EK-1.'in devamı

0,83	0,02	1	0	0,2	1
0,83	0,02	1	0	0,1	0,8333333333333333
0,83	0,02	1	0	0,3	0,7777777777777778
0,83	0,02	1	0	0,4	0,6666666666666667
0,83	0,02	0	1	0,2	0,5
0,83	0,02	0	1	0,1	0,4444444444444444
0,83	0,02	0	1	0,3	0,3333333333333333
0,83	0,02	0	1	0,4	0,3333333333333333
0,83	0,02	1	1	0,2	0,3333333333333333
0,83	0,02	1	1	0,1	0,2777777777777778
0,83	0,02	1	1	0,3	0,2777777777777778
0,83	0,02	1	1	0,4	0,2222222222222222
0,33	0,02	1	1	0,1	0
0,33	0,02	1	1	0,1	0,0555555555555556
0,33	0,02	1	1	0,1	0,1666666666666667
0,33	0,02	1	1	0,1	0,3888888888888889
0,33	0,02	1	1	0,1	0,5

EK-1.'in devamı

0,33	0,02	1	1	0,1	0,611111111111111
0,33	0,02	1	1	0,1	0,722222222222222
0,33	0,02	1	1	0,1	0,833333333333333
0,33	0,02	1	1	0,1	0,944444444444444
0,33	0,02	1	1	0,1	1
0,83	0,02	1	1	0,1	0
0,83	0,02	1	1	0,1	0,055555555555556
0,83	0,02	1	1	0,1	0,166666666666667
0,83	0,02	1	1	0,1	0,388888888888889
0,83	0,02	1	1	0,1	0,5
0,83	0,02	1	1	0,1	0,611111111111111
0,83	0,02	1	1	0,1	0,722222222222222
0,83	0,02	1	1	0,1	0,833333333333333
0,83	0,02	1	1	0,1	0,944444444444444
0,83	0,02	1	1	0,1	1
0,33	0,02	0	0	0,1	0
0,33	0,02	0	0	0,1	0,055555555555556

EK-1.'in devamı

0,33	0,02	0	0	0,1	0,166666666666667
0,33	0,02	0	0	0,1	0,388888888888889
0,33	0,02	0	0	0,1	0,5
0,33	0,02	0	0	0,1	0,611111111111111
0,33	0,02	0	0	0,1	0,722222222222222
0,33	0,02	0	0	0,1	0,833333333333333
0,33	0,02	0	0	0,1	0,944444444444444
0,33	0,02	0	0	0,1	1
0,83	0,02	0	0	0,1	0
0,83	0,02	0	0	0,1	0,055555555555556
0,83	0,02	0	0	0,1	0,166666666666667
0,83	0,02	0	0	0,1	0,388888888888889
0,83	0,02	0	0	0,1	0,5
0,83	0,02	0	0	0,1	0,611111111111111
0,83	0,02	0	0	0,1	0,722222222222222
0,83	0,02	0	0	0,1	0,833333333333333
0,83	0,02	0	0	0,1	0,944444444444444

EK-1.'in devamı

0,83	0,02	0	0	0,1	1
0,33	0,02	1	1	0,2	0
0,33	0,02	1	1	0,2	0,0555555555555556
0,33	0,02	1	1	0,2	0,166666666666667
0,33	0,02	1	1	0,2	0,388888888888889
0,33	0,02	1	1	0,2	0,5
0,33	0,02	1	1	0,2	0,611111111111111
0,33	0,02	1	1	0,2	0,722222222222222
0,33	0,02	1	1	0,2	0,833333333333333
0,33	0,02	1	1	0,2	0,944444444444444
0,33	0,02	1	1	0,2	1
0,83	0,02	1	1	0,2	0
0,83	0,02	1	1	0,2	0,0555555555555556
0,83	0,02	1	1	0,2	0,166666666666667
0,83	0,02	1	1	0,2	0,388888888888889
0,83	0,02	1	1	0,2	0,5
0,83	0,02	1	1	0,2	0,611111111111111

EK-1.'in devamı

0,83	0,02	1	1	0,2	0,722222222222222
0,83	0,02	1	1	0,2	0,833333333333333
0,83	0,02	1	1	0,2	0,944444444444444
0,83	0,02	1	1	0,2	1
0,33	0,02	0	0	0,2	0
0,33	0,02	0	0	0,2	0,055555555555556
0,33	0,02	0	0	0,2	0,166666666666667
0,33	0,02	0	0	0,2	0,388888888888889
0,33	0,02	0	0	0,2	0,5
0,33	0,02	0	0	0,2	0,611111111111111
0,33	0,02	0	0	0,2	0,722222222222222
0,33	0,02	0	0	0,2	0,833333333333333
0,33	0,02	0	0	0,2	0,944444444444444
0,33	0,02	0	0	0,2	1
0,83	0,02	0	0	0,2	0
0,83	0,02	0	0	0,2	0,055555555555556
0,83	0,02	0	0	0,2	0,166666666666667
0,83	0,02	0	0	0,2	0,388888888888889
0,83	0,02	0	0	0,2	0,5
0,83	0,02	0	0	0,2	0,611111111111111
0,83	0,02	0	0	0,2	0,722222222222222
0,83	0,02	0	0	0,2	0,833333333333333
0,83	0,02	0	0	0,2	0,944444444444444
0,83	0,02	0	0	0,2	1

EK-2. Gruplanan girdilerden ilki için normalize edilen test verileri

Sıcaklık	Pencere	Havalandırma	Gölgelendirme	Yön	PDO
0,83	0,02	0	1	0,2	0
0,83	0,02	0	1	0,2	0,05
0,83	0,02	0	1	0,2	0,17
0,83	0,02	0	1	0,2	0,27
0,83	0,02	0	1	0,2	0,39
0,83	0,02	0	1	0,2	0,50
0,83	0,02	0	1	0,2	0,61
0,83	0,02	0	1	0,2	0,72
0,83	0,02	0	1	0,2	0,83
0,83	0,02	0	1	0,2	0,94
0,83	0,02	0	1	0,2	1
0,83	0,02	0	1	0,1	0
0,83	0,02	0	1	0,1	0,05
0,83	0,02	0	1	0,1	0,17
0,83	0,02	0	1	0,1	0,27
0,83	0,02	0	1	0,1	0,39

EK-2.'nin devamı

0,83	0,02	0	1	0,1	0,50
0,83	0,02	0	1	0,1	0,61
0,83	0,02	0	1	0,1	0,72
0,83	0,02	0	1	0,1	0,83
0,83	0,02	0	1	0,1	0,94
0,83	0,02	0	1	0,1	1
0,83	0,02	0	1	0,3	0
0,83	0,02	0	1	0,3	0,05
0,83	0,02	0	1	0,3	0,17
0,83	0,02	0	1	0,3	0,27
0,83	0,02	0	1	0,3	0,39
0,83	0,02	0	1	0,3	0,50
0,83	0,02	0	1	0,3	0,61
0,83	0,02	0	1	0,3	0,72
0,83	0,02	0	1	0,3	0,83
0,83	0,02	0	1	0,3	0,94
0,83	0,02	0	1	0,3	1

EK-2.'nin devamı

0,83	0,02	0	1	0,4	0
0,83	0,02	0	1	0,4	0,05
0,83	0,02	0	1	0,4	0,17
0,83	0,02	0	1	0,4	0,27
0,83	0,02	0	1	0,4	0,39
0,83	0,02	0	1	0,4	0,50
0,83	0,02	0	1	0,4	0,61
0,83	0,02	0	1	0,4	0,72
0,83	0,02	0	1	0,4	0,83
0,83	0,02	0	1	0,4	0,94
0,83	0,02	0	1	0,4	1

EK-3. Gruplanan girdilerden ikincisi için normalize edilen eğitim verileri

Sıcaklık	Pencere	Havalandırma	Gölgelendirme	Yön	Yıllık Enerji İhtiyacı
0,33	1	0	0	0,2	0,853117647058824
0,33	1	0	0	0,1	0,771588235294118
0,33	1	0	0	0,3	0,835352941176471
0,33	1	0	0	0,4	0,834352941176471
0,33	1	1	0	0,2	0,863764705882353
0,33	1	1	0	0,1	0,788941176470588
0,33	1	1	0	0,3	0,847588235294118
0,33	1	1	0	0,4	0,849411764705882
0,33	1	0	1	0,2	0,826176470588235
0,33	1	0	1	0,1	0,773235294117647
0,33	1	0	1	0,3	0,815411764705882
0,33	1	0	1	0,4	0,812470588235294
0,33	1	1	1	0,2	0,833647058823529
0,33	1	1	1	0,1	0,792823529411765
0,33	1	1	1	0,3	0,828470588235294
0,33	1	1	1	0,4	0,826529411764706
0,33	0,65	0	0	0,2	0,451

EK-3.'ün devamı

0,33	0,65	0	0	0,1	0,378411764705882
0,33	0,65	0	0	0,3	0,433529411764706
0,33	0,65	0	0	0,4	0,433941176470588
0,33	0,65	1	0	0,2	0,457117647058824
0,33	0,65	1	0	0,1	0,396117647058824
0,33	0,65	1	0	0,3	0,442823529411765
0,33	0,65	1	0	0,4	0,446352941176471
0,33	0,65	0	1	0,2	0,437235294117647
0,33	0,65	0	1	0,1	0,383764705882353
0,33	0,65	0	1	0,3	0,426411764705882
0,33	0,65	0	1	0,4	0,423117647058824
0,33	0,65	1	1	0,2	0,439352941176471
0,33	0,65	1	1	0,1	0,404411764705882
0,33	0,65	1	1	0,3	0,437764705882353
0,33	0,65	1	1	0,4	0,433352941176471
0,33	0,02	0	0	0,2	0,275235294117647
0,33	0,02	0	0	0,1	0,192705882352941

EK-1.'ün devamı

0,33	0,02	0	0	0,3	0,255411764705882
0,33	0,02	0	0	0,4	0,253588235294118
0,33	0,02	1	0	0,2	0,288823529411765
0,33	0,02	1	0	0,1	0,247823529411765
0,33	0,02	1	0	0,3	0,285058823529412
0,33	0,02	1	0	0,4	0,291588235294118
0,33	0,02	0	1	0,2	0,271176470588235
0,33	0,02	0	1	0,1	0,219176470588235
0,33	0,02	0	1	0,3	0,262058823529412
0,33	0,02	0	1	0,4	0,259529411764706
0,33	0,02	1	1	0,2	0,279235294117647
0,33	0,02	1	1	0,1	0,259235294117647
0,33	0,02	1	1	0,3	0,284470588235294
0,33	0,02	1	1	0,4	0,281411764705882
0,83	1	0	0	0,2	0,461
0,83	1	0	0	0,1	0,340529411764706
0,83	1	0	0	0,3	0,446941176470588

EK-3.'ün devamı

0,83	1	0	0	0,4	0,444647058823529
0,83	1	1	0	0,2	0,507411764705882
0,83	1	1	0	0,1	0,400588235294118
0,83	1	1	0	0,3	0,501411764705882
0,83	1	1	0	0,4	0,507882352941176
0,83	1	0	1	0,2	0,459117647058824
0,83	1	0	1	0,1	0,411470588235294
0,83	1	0	1	0,3	0,467588235294118
0,83	1	0	1	0,4	0,473588235294118
0,83	1	1	1	0,2	0,507823529411765
0,83	1	1	1	0,1	0,475470588235294
0,83	1	1	1	0,3	0,527647058823529
0,83	1	1	1	0,4	0,532470588235294
0,83	0,65	0	0	0,2	0,211647058823529
0,83	0,65	0	0	0,1	0,0738235294117647
0,83	0,65	0	0	0,3	0,189941176470588
0,83	0,65	0	0	0,4	0,193705882352941

EK-3.'ün devamı

0,83	0,65	1	0	0,2	0,211058823529412
0,83	0,65	1	0	0,1	0,140176470588235
0,83	0,65	1	0	0,3	0,211176470588235
0,83	0,65	1	0	0,4	0,213705882352941
0,83	0,65	0	1	0,2	0,211058823529412
0,83	0,65	0	1	0,1	0,140176470588235
0,83	0,65	0	1	0,3	0,211176470588235
0,83	0,65	0	1	0,4	0,213705882352941
0,83	0,65	1	1	0,2	0,253882352941176
0,83	0,65	1	1	0,1	0,217529411764706
0,83	0,65	1	1	0,3	0,274470588235294
0,83	0,65	1	1	0,4	0,274764705882353
0,83	0,02	0	0	0,2	0,104882352941176
0,83	0,02	0	0	0,1	0,0175882352941177
0,83	0,02	0	0	0,3	0,0948235294117647
0,83	0,02	0	0	0,4	0,097
0,83	0,02	1	0	0,2	0,164529411764706

EK-3.'ün devamı

0,83	0,02	1	0	0,1	0,105058823529412
0,83	0,02	1	0	0,3	0,168882352941176
0,83	0,02	1	0	0,4	0,191176470588235
0,83	0,02	0	1	0,2	0,118411764705882
0,83	0,02	0	1	0,1	0,081
0,83	0,02	0	1	0,3	0,130117647058824
0,83	0,02	0	1	0,4	0,131294117647059
0,83	0,02	1	1	0,2	0,168411764705882
0,83	0,02	1	1	0,1	0,154705882352941
0,83	0,02	1	1	0,3	0,195411764705882
0,83	0,02	1	1	0,4	0,193764705882353
0,33	0,02	1	1	0,1	0,364705882352941
0,33	0,02	1	1	0,1	0,323529411764706
0,33	0,02	1	1	0,1	0,270588235294118
0,33	0,02	1	1	0,1	0,258823529411765
0,33	0,02	1	1	0,1	0,276470588235294
0,33	0,02	1	1	0,1	0,282352941176471

EK-3.'ün devamı

0,33	0,02	1	1	0,1	0,311764705882353
0,33	0,02	1	1	0,1	0,323529411764706
0,33	0,02	1	1	0,1	0,341176470588235
0,33	0,02	1	1	0,1	0,358823529411765
0,83	0,02	1	1	0,1	0,305882352941176
0,83	0,02	1	1	0,1	0,264705882352941
0,83	0,02	1	1	0,1	0,164705882352941
0,83	0,02	1	1	0,1	0,135294117647059
0,83	0,02	1	1	0,1	0,170588235294118
0,83	0,02	1	1	0,1	0,188235294117647
0,83	0,02	1	1	0,1	0,205882352941176
0,83	0,02	1	1	0,1	0,235294117647059
0,83	0,02	1	1	0,1	0,252941176470588
0,83	0,02	1	1	0,1	0,270588235294118
0,33	0,02	0	0	0,1	0,364705882352941
0,33	0,02	0	0	0,1	0,323529411764706
0,33	0,02	0	0	0,1	0,252941176470588

EK-3.'ün devamı

0,33	0,02	0	0	0,1	0,235294117647059
0,33	0,02	0	0	0,1	0,223529411764706
0,33	0,02	0	0	0,1	0,223529411764706
0,33	0,02	0	0	0,1	0,205882352941176
0,33	0,02	0	0	0,1	0,2
0,33	0,02	0	0	0,1	0,194117647058824
0,33	0,02	0	0	0,1	0,192705882352941
0,83	0,02	0	0	0,1	0,258823529411765
0,83	0,02	0	0	0,1	0,235294117647059
0,83	0,02	0	0	0,1	0,176470588235294
0,83	0,02	0	0	0,1	0,135294117647059
0,83	0,02	0	0	0,1	0,0647058823529412
0,83	0,02	0	0	0,1	0,0470588235294118
0,83	0,02	0	0	0,1	0,0470588235294118
0,83	0,02	0	0	0,1	0,0294117647058824
0,83	0,02	0	0	0,1	0,0235294117647059
0,83	0,02	0	0	0,1	0,0175882352941177

EK-3.'ün devamı

0,33	0,02	1	1	0,2	0,394117647058824
0,33	0,02	1	1	0,2	0,382352941176471
0,33	0,02	1	1	0,2	0,317647058823529
0,33	0,02	1	1	0,2	0,276470588235294
0,33	0,02	1	1	0,2	0,282352941176471
0,33	0,02	1	1	0,2	0,288235294117647
0,33	0,02	1	1	0,2	0,294117647058824
0,33	0,02	1	1	0,2	0,3
0,33	0,02	1	1	0,2	0,364705882352941
0,33	0,02	1	1	0,2	0,370588235294118
0,83	0,02	1	1	0,2	0,335294117647059
0,83	0,02	1	1	0,2	0,294117647058824
0,83	0,02	1	1	0,2	0,205882352941176
0,83	0,02	1	1	0,2	0,164705882352941
0,83	0,02	1	1	0,2	0,170588235294118
0,83	0,02	1	1	0,2	0,182352941176471
0,83	0,02	1	1	0,2	0,194117647058824

EK-3.'ün devamı

0,83	0,02	1	1	0,2	0,2
0,83	0,02	1	1	0,2	0,211764705882353
0,83	0,02	1	1	0,2	0,217647058823529
0,33	0,02	0	0	0,2	0,358823529411765
0,33	0,02	0	0	0,2	0,382352941176471
0,33	0,02	0	0	0,2	0,335294117647059
0,33	0,02	0	0	0,2	0,288235294117647
0,33	0,02	0	0	0,2	0,285294117647059
0,33	0,02	0	0	0,2	0,282352941176471
0,33	0,02	0	0	0,2	0,281764705882353
0,33	0,02	0	0	0,2	0,279411764705882
0,33	0,02	0	0	0,2	0,276470588235294
0,33	0,02	0	0	0,2	0,275235294117647
0,83	0,02	0	0	0,2	0,288235294117647
0,83	0,02	0	0	0,2	0,264705882352941
0,83	0,02	0	0	0,2	0,223529411764706
0,83	0,02	0	0	0,2	0,164705882352941
0,83	0,02	0	0	0,2	0,141176470588235
0,83	0,02	0	0	0,2	0,135294117647059
0,83	0,02	0	0	0,2	0,117647058823529
0,83	0,02	0	0	0,2	0,111764705882353
0,83	0,02	0	0	0,2	0,105882352941176
0,83	0,02	0	0	0,2	0,104882352941176

EK-4. Gruplanan girdilerden ikincisi için normalize edilen test verileri

Sıcaklık	Pencere	Havalandırma	Gölgeleme	Yön	Yıllık Enerji İhtiyacı
0,83	0,02	0	1	0,2	0,358
0,83	0,02	0	1	0,2	0,347
0,83	0,02	0	1	0,2	0,288
0,83	0,02	0	1	0,2	0,235
0,83	0,02	0	1	0,2	0,208
0,83	0,02	0	1	0,2	0,194
0,83	0,02	0	1	0,2	0,185
0,83	0,02	0	1	0,2	0,17
0,83	0,02	0	1	0,2	0,170
0,83	0,02	0	1	0,2	0,161
0,83	0,02	0	1	0,2	0,158
0,83	0,02	0	1	0,1	0,335
0,83	0,02	0	1	0,1	0,297
0,83	0,02	0	1	0,1	0,228
0,83	0,02	0	1	0,1	0,185
0,83	0,02	0	1	0,1	0,167

EK-4.'ün devamı

0,83	0,02	0	1	0,1	0,131
0,83	0,02	0	1	0,1	0,114
0,83	0,02	0	1	0,1	0,105
0,83	0,02	0	1	0,1	0,1
0,83	0,02	0	1	0,1	0,094
0,83	0,02	0	1	0,1	0,091
0,83	0,02	0	1	0,3	0,35
0,83	0,02	0	1	0,3	0,317
0,83	0,02	0	1	0,3	0,272
0,83	0,02	0	1	0,3	0,23
0,83	0,02	0	1	0,3	0,214
0,83	0,02	0	1	0,3	0,187
0,83	0,02	0	1	0,3	0,174
0,83	0,02	0	1	0,3	0,164
0,83	0,02	0	1	0,3	0,161
0,83	0,02	0	1	0,3	0,161
0,83	0,02	0	1	0,3	0,164

EK-4.'ün devamı

0,83	0,02	0	1	0,4	0,335
0,83	0,02	0	1	0,4	0,329
0,83	0,02	0	1	0,4	0,272
0,83	0,02	0	1	0,4	0,241
0,83	0,02	0	1	0,4	0,215
0,83	0,02	0	1	0,4	0,187
0,83	0,02	0	1	0,4	0,174
0,83	0,02	0	1	0,4	0,170
0,83	0,02	0	1	0,4	0,161
0,83	0,02	0	1	0,4	0,161
0,83	0,02	0	1	0,4	0,164

EK-5. Gerçek veriler ile sinirsel bulanık mantık yöntemi ile elde edilen veriler

Gerçek verilerden elde edilen yıllık enerji ihtiyacı	Sinirsel Bulanık Mantık yöntemi ile çıktı verilerinden elde edilen yıllık enerji ihtiyacı
0,853117647	0,853115506
0,771588235	0,771588016
0,835352941	0,835354678
0,834352941	0,834352436
0,863764706	0,863762833
0,788941176	0,788941081
0,847588235	0,847589835
0,849411765	0,849411369
0,826176471	0,826173654
0,773235294	0,773235265
0,815411765	0,815414313
0,812470588	0,812470087
0,833647059	0,833647016
0,792823529	0,792823158

EK-5.'in devamı

0,828470588	0,828470204
0,826529412	0,826529077
0,451	0,450996906
0,378411765	0,378411748
0,433529412	0,433532196
0,433941176	0,433940665
0,457117647	0,457114818
0,396117647	0,396117714
0,442823529	0,442826198
0,446352941	0,446352527
0,437235294	0,437232687
0,383764706	0,38376475
0,426411765	0,426414196
0,423117647	0,423117247
0,439352941	0,439352722
0,404411765	0,404411656

EK-2.'in devamı

0,437764706	0,437764779
0,433352941	0,433352701
0,275235294	0,275861522
0,192705882	0,192106569
0,255411765	0,255415756
0,253588235	0,253587729
0,288823529	0,288823327
0,247823529	0,247823409
0,285058824	0,285058787
0,291588235	0,291588116
0,271176471	0,271176553
0,219176471	0,219176299
0,262058824	0,262058559
0,259529412	0,259529284
0,279235294	0,277638874
0,259235294	0,259723454

EK-53.'in devamı

0,284470588	0,284469329
0,281411765	0,281411799
0,461	0,460995776
0,340529412	0,340529482
0,446941176	0,446945152
0,444647059	0,444646426
0,507411765	0,507409142
0,400588235	0,400588245
0,501411765	0,501414167
0,507882353	0,507881923
0,459117647	0,459118311
0,411470588	0,411470415
0,467588235	0,467587389
0,473588235	0,473588068
0,507823529	0,507823986
0,475470588	0,475470445

EK-5.'in devamı

0,527647059	0,527646469
0,532470588	0,532470428
0,211647059	0,211644144
0,073823529	0,07382362
0,189941176	0,189943987
0,193705882	0,19370555
0,211058824	0,211058136
0,140176471	0,140176469
0,211176471	0,211177047
0,213705882	0,213705769
0,211058824	0,21105808
0,140176471	0,140176487
0,211176471	0,211177154
0,213705882	0,213705746
0,253882353	0,253883087
0,217529412	0,217529303

EK-5.'in devamı

0,274470588	0,274469733
0,274764706	0,274764651
0,104882353	0,104233486
0,017588235	0,017385055
0,094823529	0,09482606
0,097	0,096999722
0,164529412	0,164529435
0,105058824	0,105058764
0,168882353	0,168882217
0,191176471	0,191176375
0,118411765	0,118411853
0,081	0,080999964
0,130117647	0,130117511
0,131294118	0,131294086
0,168411765	0,167146142
0,154705882	0,145721448

EK-5.'in devamı

0,195411765	0,195409029
0,193764706	0,193764922
0,364705882	0,360659819
0,323529412	0,329870395
0,270588235	0,266976601
0,258823529	0,262930876
0,276470588	0,271234275
0,282352941	0,286978685
0,311764706	0,306573326
0,323529412	0,324966257
0,341176471	0,345724624
0,358823529	0,355361325
0,305882353	0,307711182
0,264705882	0,261827181
0,164705882	0,16636591
0,135294118	0,15241712

EK-54.'in devamı

0,170588235	0,162525192
0,188235294	0,184335069
0,205882353	0,210427771
0,235294118	0,232814477
0,252941176	0,25706949
0,270588235	0,26760832
0,364705882	0,364044476
0,323529412	0,324559635
0,252941176	0,252361104
0,235294118	0,23498092
0,223529412	0,227161109
0,223529412	0,217487509
0,205882353	0,208352634
0,2	0,201052348
0,194117647	0,194727909
0,192705882	0,192106569

EK-5.'in devamı

0,258823529	0,266666393
0,235294118	0,22298499
0,176470588	0,183501197
0,135294118	0,127322591
0,064705882	0,070142608
0,047058824	0,049124976
0,047058824	0,043933067
0,029411765	0,029943293
0,023529412	0,024433833
0,017588235	0,017385055
0,394117647	0,395071627
0,382352941	0,38085533
0,317647059	0,31850265
0,276470588	0,277638874
0,282352941	0,285556507
0,288235294	0,282760274

EK-5.'in devamı

0,294117647	0,289871712
0,3	0,314549213
0,364705882	0,35196556
0,370588235	0,375413968
0,335294118	0,334389375
0,294117647	0,295530297
0,205882353	0,205083621
0,164705882	0,16751117
0,170588235	0,170368025
0,182352941	0,180638146
0,194117647	0,193025723
0,2	0,202454895
0,211764706	0,212445157
0,217647059	0,216292285
0,358823529	0,365269531
0,382352941	0,372245658

EK-5.'in devamı

0,335294118	0,341055831
0,288235294	0,281964573
0,285294118	0,288356912
0,282352941	0,285597493
0,281764706	0,280168428
0,279411765	0,278334537
0,276470588	0,275749856
0,275235294	0,275861522
0,288235294	0,286867332
0,264705882	0,266848073
0,223529412	0,222310931
0,164705882	0,165138304
0,141176471	0,143945039
0,135294118	0,129690862
0,117647059	0,120558982
0,111764706	0,111876334
0,105882353	0,107000073
0,104882353	0,104233486

EK-6. TS 825 standartına göre yalıtımı iyi olan yapıda 23 metre kat yüksekliği uygulandığında ısı kayıpları ve kazançları tablosu

Aylar	ISI KAYIPLARI (1)			ISI KAZANÇLARI (2)					Kayıp/Kazanç oranı	Kazanç Kullan. Faktör	Aylık Isıtma Enerjisi
	Özgül Isı Kaybı H W/K	Sıcaklık Farkı Ti-Td	Isı Kayıpları H*(Ti-Td) W	İç Isı Kazancı Q1-(W)	Ort.Aylık Güneş Işınım Şiddeti Değerleri.			(2) Toplam Kazanç Q1+ Qgü W			
					Güney camlar Ig W/m2	Kuzey camlar Ig W/m2	Doğu- Batı camlar Ig W/m2				
OCAK	19006	13,0	247073	336000	72	26	43	354360	1,43	0,502	179320921
ŞUBAT	19006	11,7	222366	336000	84	37	57	357420	1,61	0,463	147274448
MART	19006	9,5	180553	336000	95	52	77	360225	2,00	0,394	99947295
NİSAN	19006	5,3	100730	336000	83	66	90	357165	3,55	0,246	33607397
MAYIS	19006	0,4	7602	336000	92	79	114	359460	47,28	0,021	208910
HAZİRAN	19006	-4,4	-83625	336000	95	83	122	360225	-4,31	-0,261	27196343
TEMMUZ	19006	-7,0	-133039	336000	93	81	118	359715	-2,70	-0,447	72362327
AĞUSTOS	19006	-6,2	-117835	336000	93	73	106	359715	-3,05	-0,388	55922505
EYLÜL	19006	-2,3	-43713	336000	89	57	81	358695	-8,21	-0,130	7179905
EKİM	19006	2,9	55116	336000	82	40	59	356910	6,48	0,143	10496902
KASIM	19006	7,7	146343	336000	67	27	41	353085	2,41	0,339	68812447
ARALIK	19006	11,6	220465	336000	64	22	37	352320	1,60	0,465	146703891

EK-7. TS 825 standartına göre yalıtımı iyi olan yapıda 15 metre kat yüksekliği uygulandığında ısı kayıpları ve kazançları tablosu

Aylar	ISI KAYIPLARI (1)			ISI KAZANÇLARI (2)					Kayıp/Kazanç oranı	Kazanç Kullan. Faktör	Aylık Isıtma Enerjisi
	Özgül Isı Kaybı H W/K	Sıcaklık Farkı Ti-Td	Isı Kayıpları H*(Ti-Td) W	İç Isı Kazancı Q1-(W)	Ort.Aylık Güneş Işınım Şiddeti Değerleri.			(2) Toplam Kazanç Q1+ Qgü W			
					Güney camlar Ig W/m2	Kuzey camlar Ig W/m2	Doğu- Batı camlar Ig W/m2				
OCAK	13439	13,0	174704	224000	72	26	43	242360	1,39	0,514	130177102
ŞUBAT	13439	11,7	157234	224000	84	37	57	245420	1,56	0,473	106644209
MART	13439	9,5	127669	224000	95	52	77	248225	1,94	0,402	72228881
NİSAN	13439	5,3	71226	224000	83	66	90	245165	3,44	0,252	24413024
MAYIS	13439	0,4	5376	224000	92	79	114	247460	46,03	0,021	151659
HAZİRAN	13439	-4,4	-59131	224000	95	83	122	248225	-4,20	-0,269	19775156
TEMMUZ	13439	-7,0	-94072	224000	93	81	118	247715	-2,63	-0,462	52724119
AĞUSTOS	13439	-6,2	-83321	224000	93	73	106	247715	-2,97	-0,400	40728680
EYLÜL	13439	-2,3	-30909	224000	89	57	81	246695	-7,98	-0,133	5225984
EKİM	13439	2,9	38973	224000	82	40	59	244910	6,28	0,147	7636435
KASIM	13439	7,7	103479	224000	67	27	41	241085	2,33	0,349	50157628
ARALIK	13439	11,6	155890	224000	64	22	37	240320	1,54	0,477	106797267

EK-6. TS 825 standartına göre yalıtımı iyi olan yapıda 10 metre kat yüksekliği uygulandığında ısı kayıpları ve kazançları tablosu

Aylar	ISI KAYIPLARI (1)			ISI KAZANÇLARI (2)					Kayıp/Kazanç oranı	Kazanç Kullan. Faktör	Aylık Isıtma Enerjisi
	Özgül Isı Kaybı H W/K	Sıcaklık Farkı Ti-Td	Isı Kayıpları H*(Ti-Td) W	İç Isı Kazancı Q1-(W)	Ort.Aylık Güneş Işınım Şiddeti Değerleri.			(2) Toplam Kazanç Q1+ Qgü W			
					Güney camlar Ig W/m2	Kuzey camlar Ig W/m2	Doğu- Batı camlar Ig W/m2				
OCAK	9961	13,0	129490	154000	72	26	43	172360	1,33	0,528	99661856
ŞUBAT	9961	11,7	116541	154000	84	37	57	175420	1,51	0,485	81387611
MART	9961	9,5	94628	154000	95	52	77	178225	1,88	0,412	54985251
NİSAN	9961	5,3	52792	154000	83	66	90	175165	3,32	0,260	18706494
MAYIS	9961	0,4	3984	154000	92	79	114	177460	44,54	0,022	116119
HAZİRAN	9961	-4,4	-43828	154000	95	83	122	178225	-4,07	-0,279	15171757
TEMMUZ	9961	-7,0	-69726	154000	93	81	118	177715	-2,55	-0,480	40555970
AĞUSTOS	9961	-6,2	-61757	154000	93	73	106	177715	-2,88	-0,415	31312114
EYLÜL	9961	-2,3	-22910	154000	89	57	81	176695	-7,71	-0,138	4014589
EKİM	9961	2,9	28886	154000	82	40	59	174910	6,06	0,152	5862480
KASIM	9961	7,7	76698	154000	67	27	41	171085	2,23	0,361	38600007
ARALIK	9961	11,6	115545	154000	64	22	37	170320	1,47	0,493	82053487

EK-9. TS 825 standartına göre yalıtım yetersiz olan yapıda 23 metre kat yüksekliği uygulandığında ısı kayıpları ve kazançları tablosu

Aylar	ISI KAYIPLARI (1)			ISI KAZANÇLARI (2)					Kayıp/Kazanç oranı	Kazanç Kullan. Faktör	Aylık Isıtma Enerjisi
	Özgül Isı Kaybı H W/K	Sıcaklık Farkı Ti-Td	Isı Kayıpları H*(Ti-Td) W	İç Isı Kazancı Q1-(W)	Ort.Aylık Güneş Işınım Şiddeti Değerleri.			(2) Toplam Kazanç Q1+ Qgü W			
					Güney camlar Ig W/m2	Kuzey camlar Ig W/m2	Doğu- Batı camlar Ig W/m2				
OCAK	59091	13,0	768188	336000	72	26	43	354360	0,46	0,886	1177767607
ŞUBAT	59091	11,7	691369	336000	84	37	57	357420	0,52	0,855	999512249
MART	59091	9,5	561368	336000	95	52	77	360225	0,64	0,789	717917550
NİSAN	59091	5,3	313184	336000	83	66	90	357165	1,14	0,584	271238495
MAYIS	59091	0,4	23637	336000	92	79	114	359460	15,21	0,064	1976808
HAZİRAN	59091	-4,4	-260002	336000	95	83	122	360225	-1,39	-1,058	313870201
TEMMUZ	59091	-7,0	-413640	336000	93	81	118	359715	-0,87	-2,158	939487652
AĞUSTOS	59091	-6,2	-366367	336000	93	73	106	359715	-0,98	-1,769	699501066
EYLÜL	59091	-2,3	-135910	336000	89	57	81	358695	-2,64	-0,461	75978568
EKİM	59091	2,9	171365	336000	82	40	59	356910	2,08	0,381	91461761
KASIM	59091	7,7	455004	336000	67	27	41	353085	0,78	0,724	516473757
ARALIK	59091	11,6	685460	336000	64	22	37	352320	0,51	0,857	994030381

EK-7. TS 825 standartına göre yalıtım yetersiz yapıda 15 metre kat yüksekliği uygulandığında ısı kayıpları ve kazançları tablosu

Aylar	ISI KAYIPLARI (1)			ISI KAZANÇLARI (2)					Kayıp/Kazanç oranı	Kazanç Kullan. Faktör	Aylık Isıtma Enerjisi
	Özgül Isı Kaybı H W/K	Sıcaklık Farkı Ti-Td	Isı Kayıpları H*(Ti-Td) W	İç Isı Kazancı Q1-(W)	Ort.Aylık Güneş Işınım Şiddeti Değerleri.			(2) Toplam Kazanç Q1+ Qgü W			
					Güney camlar Ig W/m2	Kuzey camlar Ig W/m2	Doğu- Batı camlar Ig W/m2				
OCAK	50251	13,0	653266	224000	72	26	43	242360	0,37	0,932	1107490651
ŞUBAT	50251	11,7	587939	224000	84	37	57	245420	0,42	0,909	945783943
MART	50251	9,5	477386	224000	95	52	77	248225	0,52	0,854	688030508
NİSAN	50251	5,3	266331	224000	83	66	90	245165	0,92	0,663	269326522
MAYIS	50251	0,4	20100	224000	92	79	114	247460	12,31	0,078	2064820
HAZİRAN	50251	-4,4	-221105	224000	95	83	122	248225	-1,12	-1,437	351279900
TEMMUZ	50251	-7,0	-351758	224000	93	81	118	247715	-0,70	-3,137	1102158151
AĞUSTOS	50251	-6,2	-311557	224000	93	73	106	247715	-0,80	-2,517	808521392
EYLÜL	50251	-2,3	-115578	224000	89	57	81	246695	-2,13	-0,598	82500462
EKİM	50251	2,9	145728	224000	82	40	59	244910	1,68	0,448	93068675
KASIM	50251	7,7	386934	224000	67	27	41	241085	0,62	0,799	503600204
ARALIK	50251	11,6	582914	224000	64	22	37	240320	0,41	0,912	943099530

EK-11. TS 825 standartına göre yalıtım yetersiz yapıda 10 metre kat yüksekliği uygulandığında ısı kayıpları ve kazançları tablosu

Aylar	ISI KAYIPLARI (1)			ISI KAZANÇLARI (2)					Kayıp/Kazanç oranı	Kazanç Kullan. Faktör	Aylık Isıtma Enerjisi
	Özgül Isı Kaybı H W/K	Sıcaklık Farkı Ti-Td	Isı Kayıpları H*(Ti-Td) W	İç Isı Kazancı Q1-(W)	Ort.Aylık Güneş Işınım Şiddeti Değerleri.			(2) Toplam Kazanç Q1+ Qgü W			
					Güney camlar Ig W/m2	Kuzey camlar Ig W/m2	Doğu- Batı camlar Ig W/m2				
OCAK	44729	13,0	581480	154000	72	26	43	172360	0,30	0,966	1075751439
ŞUBAT	44729	11,7	523332	154000	84	37	57	175420	0,34	0,949	924812778
MART	44729	9,5	424927	154000	95	52	77	178225	0,42	0,908	682037743
NİSAN	44729	5,3	237065	154000	83	66	90	175165	0,74	0,742	277765764
MAYIS	44729	0,4	17892	154000	92	79	114	177460	9,92	0,096	2265519
HAZİRAN	44729	-4,4	-196808	154000	95	83	122	178225	-0,91	-2,017	421494051
TEMMUZ	44729	-7,0	-313104	154000	93	81	118	177715	-0,57	-4,822	1409647487
AĞUSTOS	44729	-6,2	-277321	154000	93	73	106	177715	-0,64	-3,760	1013338854
EYLÜL	44729	-2,3	-102877	154000	89	57	81	176695	-1,72	-0,790	95119658
EKİM	44729	2,9	129715	154000	82	40	59	174910	1,35	0,524	98830334
KASIM	44729	7,7	344415	154000	67	27	41	171085	0,50	0,866	508515734
ARALIK	44729	11,6	518859	154000	64	22	37	170320	0,33	0,952	924402420

EK-8. TS 825 standartı yalıtımlı yapıda 2800 m2 mekanda uygulandığında ısı kayıpları ve kazançları tablosu

Aylar	ISI KAYIPLARI (1)			ISI KAZANÇLARI (2)					Kayıp/Kazanç oranı	Kazanç Kullan. Faktör	Aylık Isıtma Enerjisi
	Özgül Isı Kaybı H W/K	Sıcaklık Farkı Ti-Td	Isı Kayıpları H*(Ti-Td) W	İç Isı Kazancı Q1-(W)	Ort.Aylık Güneş Işınım Şiddeti Değerleri.			(2) Toplam Kazanç Q1+ Qgü W			
					Güney camlar Ig W/m2	Kuzey camlar Ig W/m2	Doğu- Batı camlar Ig W/m2				
OCAK	10501	13,0	136512	154000	72	26	43	172360	1,26	0,547	109449183
ŞUBAT	10501	11,7	122861	154000	84	37	57	175420	1,43	0,504	89489240
MART	10501	9,5	99759	154000	95	52	77	178225	1,79	0,429	60576458
NİSAN	10501	5,3	55655	154000	83	66	90	175165	3,15	0,272	20682372
MAYIS	10501	0,4	4200	154000	92	79	114	177460	42,25	0,023	128941
HAZİRAN	10501	-4,4	-46204	154000	95	83	122	178225	-3,86	-0,296	16940927
TEMMUZ	10501	-7,0	-73507	154000	93	81	118	177715	-2,42	-0,512	45418003
AĞUSTOS	10501	-6,2	-65106	154000	93	73	106	177715	-2,73	-0,442	35033943
EYLÜL	10501	-2,3	-24152	154000	89	57	81	176695	-7,32	-0,146	4472877
EKİM	10501	2,9	30453	154000	82	40	59	174910	5,74	0,160	6496251
KASIM	10501	7,7	80857	154000	67	27	41	171085	2,12	0,377	42578381
ARALIK	10501	11,6	121811	154000	64	22	37	170320	1,40	0,511	90203407

EK-13. TS 825 standartı yalıtımlı yapıda 4800 m2 mekanda uygulandığında ısı kayıpları ve kazançları tablosu

Aylar	ISI KAYIPLARI (1)			ISI KAZANÇLARI (2)					Kayıp/Kazanç oranı	Kazanç Kullan. Faktör	Aylık Isıtma Enerjisi
	Özgül Isı Kaybı H W/K	Sıcaklık Farkı Ti-Td	Isı Kayıpları H*(Ti-Td) W	İç Isı Kazancı Q1-(W)	Ort.Aylık Güneş Işınım Şiddeti Değerleri.			(2) Toplam Kazanç Q1+ Qgü W			
					Güney camlar Ig W/m2	Kuzey camlar Ig W/m2	Doğu- Batı camlar Ig W/m2				
OCAK	15701	13,0	204112	264000	72	26	43	282360	1,38	0,515	152427284
ŞUBAT	15701	11,7	183701	264000	84	37	57	285420	1,55	0,475	125057864
MART	15701	9,5	149159	264000	95	52	77	288225	1,93	0,404	84826697
NİSAN	15701	5,3	83215	264000	83	66	90	285165	3,43	0,253	28637539
MAYIS	15701	0,4	6280	264000	92	79	114	287460	45,77	0,022	178191
HAZİRAN	15701	-4,4	-69084	264000	95	83	122	288225	-4,17	-0,271	23258922
TEMMUZ	15701	-7,0	-109907	264000	93	81	118	287715	-2,62	-0,465	62012246
AĞUSTOS	15701	-6,2	-97346	264000	93	73	106	287715	-2,96	-0,403	47899058
EYLÜL	15701	-2,3	-36112	264000	89	57	81	286695	-7,94	-0,134	6139629
EKİM	15701	2,9	45533	264000	82	40	59	284910	6,26	0,148	8958226
KASIM	15701	7,7	120897	264000	67	27	41	281085	2,32	0,350	58705774
ARALIK	15701	11,6	182131	264000	64	22	37	280320	1,54	0,478	124936996

EK-14. TS 825 standartı yalıtımlı yapıda 8000 m2 mekanda uygulandığında ısı kayıpları ve kazançları tablosu

Aylar	ISI KAYIPLARI (1)			ISI KAZANÇLARI (2)					Kayıp/Kazanç oranı	Kazanç Kullan. Faktör	Aylık Isıtma Enerjisi
	Özgül Isı Kaybı H W/K	Sıcaklık Farkı Ti-Td	Isı Kayıpları H*(Ti-Td) W	İç Isı Kazancı Q1-(W)	Ort.Aylık Güneş Işınım Şiddeti Değerleri.			(2) Toplam Kazanç Q1+ Qgü W			
					Güney camlar Ig W/m2	Kuzey camlar Ig W/m2	Doğu- Batı camlar Ig W/m2				
OCAK	24021	13,0	312272	440000	72	26	43	458360	1,47	0,494	222508398
ŞUBAT	24021	11,7	281045	440000	84	37	57	461420	1,64	0,456	182950814
MART	24021	9,5	228199	440000	95	52	77	464225	2,03	0,388	124257644
NİSAN	24021	5,3	127311	440000	83	66	90	461165	3,62	0,241	41657713
MAYIS	24021	0,4	9608	440000	92	79	114	463460	48,23	0,021	258917
HAZİRAN	24021	-4,4	-105692	440000	95	83	122	464225	-4,39	-0,256	33658396
TEMMUZ	24021	-7,0	-168147	440000	93	81	118	463715	-2,76	-0,437	89437457
AĞUSTOS	24021	-6,2	-148930	440000	93	73	106	463715	-3,11	-0,379	69139604
EYLÜL	24021	-2,3	-55248	440000	89	57	81	462695	-8,37	-0,127	8883580
EKİM	24021	2,9	69661	440000	82	40	59	460910	6,62	0,140	12998642
KASIM	24021	7,7	184961	440000	67	27	41	457085	2,47	0,333	85172358
ARALIK	24021	11,6	278643	440000	64	22	37	456320	1,64	0,457	181762165

EK-15. TS 825 standartı yalıtımı düşük yapıda 2800 m2 mekanda uygulandığında ısı kayıpları ve kazançları tablosu

Aylar	ISI KAYIPLARI (1)			ISI KAZANÇLARI (2)					Kayıp/Kazanç oranı	Kazanç Kullan. Faktör	Aylık Isıtma Enerjisi
	Özgül Isı Kaybı H W/K	Sıcaklık Farkı Ti-Td	Isı Kayıpları H*(Ti-Td) W	İç Isı Kazancı Q1-(W)	Ort.Aylık Güneş Işınım Şiddeti Değerleri.			(2) Toplam Kazanç Q1+ Qgü W			
					Güney camlar Ig W/m2	Kuzey camlar Ig W/m2	Doğu- Batı camlar Ig W/m2				
OCAK	20597	13,0	267759	154000	72	26	43	172360	0,64	0,788	341782497
ŞUBAT	20597	11,7	240983	154000	84	37	57	175420	0,73	0,747	285062980
MART	20597	9,5	195670	154000	95	52	77	178225	0,91	0,666	199333860
NİSAN	20597	5,3	109163	154000	83	66	90	175165	1,60	0,464	72399953
MAYIS	20597	0,4	8239	154000	92	79	114	177460	21,54	0,045	490238
HAZİRAN	20597	-4,4	-90626	154000	95	83	122	178225	-1,97	-0,663	71235296
TEMMUZ	20597	-7,0	-144178	154000	93	81	118	177715	-1,23	-1,251	202370237
AĞUSTOS	20597	-6,2	-127700	154000	93	73	106	177715	-1,39	-1,051	153287694
EYLÜL	20597	-2,3	-47373	154000	89	57	81	176695	-3,73	-0,307	18018805
EKİM	20597	2,9	59731	154000	82	40	59	174910	2,93	0,289	23678027
KASIM	20597	7,7	158596	154000	67	27	41	171085	1,08	0,604	143136094
ARALIK	20597	11,6	238923	154000	64	22	37	170320	0,71	0,754	286397276

EK-16. TS 825 standartı yalıtımı düşük yapıda 4800 m2 mekanda uygulandığında ısı kayıpları ve kazançları tablosu

Aylar	ISI KAYIPLARI (1)			ISI KAZANÇLARI (2)					Kayıp/Kazanç oranı	Kazanç Kullan. Faktör	Aylık Isıtma Enerjisi
	Özgül Isı Kaybı H W/K	Sıcaklık Farkı Ti-Td	Isı Kayıpları H*(Ti-Td) W	İç Isı Kazancı Q1-(W)	Ort.Aylık Güneş Işınım Şiddeti Değerleri.			(2) Toplam Kazanç Q1+ Qgü W			
					Güney camlar Ig W/m2	Kuzey camlar Ig W/m2	Doğu- Batı camlar Ig W/m2				
OCAK	34077	13,0	442999	264000	72	26	43	282360	0,64	0,792	568829639
ŞUBAT	34077	11,7	398699	264000	84	37	57	285420	0,72	0,753	476649411
MART	34077	9,5	323730	264000	95	52	77	288225	0,89	0,675	335038938
NİSAN	34077	5,3	180607	264000	83	66	90	285165	1,58	0,469	121362262
MAYIS	34077	0,4	13631	264000	92	79	114	287460	21,09	0,046	828066
HAZİRAN	34077	-4,4	-149938	264000	95	83	122	288225	-1,92	-0,682	121087730
TEMMUZ	34077	-7,0	-238538	264000	93	81	118	287715	-1,21	-1,291	344486911
AĞUSTOS	34077	-6,2	-211276	264000	93	73	106	287715	-1,36	-1,084	260710359
EYLÜL	34077	-2,3	-78377	264000	89	57	81	286695	-3,66	-0,314	30454590
EKİM	34077	2,9	98823	264000	82	40	59	284910	2,88	0,293	39722192
KASIM	34077	7,7	262392	264000	67	27	41	281085	1,07	0,607	238032370
ARALIK	34077	11,6	395291	264000	64	22	37	280320	0,71	0,756	475398188

EK-9. TS 825 standartı yalıtımı düşük yapıda 8000 m2 mekanda uygulandığında ısı kayıpları ve kazançları tablosu

Aylar	ISI KAYIPLARI (1)			ISI KAZANÇLARI (2)					Kayıp/Kazanç oranı	Kazanç Kullan. Faktör	Aylık Isıtma Enerjisi
	Özgül Isı Kaybı H W/K	Sıcaklık Farkı Ti-Td	Isı Kayıpları H*(Ti-Td) W	İç Isı Kazancı Q1-(W)	Ort.Aylık Güneş Işınım Şiddeti Değerleri.			(2) Toplam Kazanç Q1+ Qgü W			
					Güney camlar Ig W/m2	Kuzey camlar Ig W/m2	Doğu- Batı camlar Ig W/m2				
OCAK	55645	13,0	723383	440000	72	26	43	458360	0,63	0,794	932133506
ŞUBAT	55645	11,7	651045	440000	84	37	57	461420	0,71	0,756	783265395
MART	55645	9,5	528626	440000	95	52	77	464225	0,88	0,680	552291690
NİSAN	55645	5,3	294918	440000	83	66	90	461165	1,56	0,472	199733869
MAYIS	55645	0,4	22258	440000	92	79	114	463460	20,82	0,047	1369147
HAZİRAN	55645	-4,4	-244837	440000	95	83	122	464225	-1,90	-0,694	200989231
TEMMUZ	55645	-7,0	-389514	440000	93	81	118	463715	-1,19	-1,316	572303549
AĞUSTOS	55645	-6,2	-344998	440000	93	73	106	463715	-1,34	-1,104	432893515
EYLÜL	55645	-2,3	-127983	440000	89	57	81	462695	-3,62	-0,319	50373419
EKİM	55645	2,9	161370	440000	82	40	59	460910	2,86	0,295	65404709
KASIM	55645	7,7	428465	440000	67	27	41	457085	1,07	0,608	389875833
ARALIK	55645	11,6	645480	440000	64	22	37	456320	0,71	0,757	777807097

EK-18. PDO %10 olduğunda pencere camı U değeri 5,2 W/m²k uygulandığında ısı kayıpları ve kazançları tablosu

Aylar	ISI KAYIPLARI (1)			ISI KAZANÇLARI (2)					Kayıp/Kazanç oranı	Kazanç Kullan. Faktör	Aylık Isıtma Enerjisi
	Özgül Isı Kaybı H W/K	Sıcaklık Farkı Ti-Td	Isı Kayıpları H*(Ti-Td) W	İç Isı Kazancı Q1-(W)	Ort.Aylık Güneş Işınım Şiddeti Değerleri.			(2) Toplam Kazanç Q1+ Qgü W			
					Güney camlar Ig W/m2	Kuzey camlar Ig W/m2	Doğu- Batı camlar Ig W/m2				
OCAK	9577	13,0	124498	154000	72	26	43	155469	1,25	0,551	100664528
ŞUBAT	9577	11,7	112049	154000	84	37	57	155714	1,39	0,513	83375107
MART	9577	9,5	90980	154000	95	52	77	155938	1,71	0,442	57171615
NİSAN	9577	5,3	50757	154000	83	66	90	155693	3,07	0,278	19302715
MAYIS	9577	0,4	3831	154000	92	79	114	155877	40,69	0,024	122018
HAZİRAN	9577	-4,4	-42138	154000	95	83	122	155938	-3,70	-0,310	16166305
TEMMUZ	9577	-7,0	-67038	154000	93	81	118	155897	-2,33	-0,537	43316031
AĞUSTOS	9577	-6,2	-59376	154000	93	73	106	155897	-2,63	-0,463	33388912
EYLÜL	9577	-2,3	-22027	154000	89	57	81	155816	-7,07	-0,152	4225688
EKİM	9577	2,9	27773	154000	82	40	59	155673	5,61	0,163	6062209
KASIM	9577	7,7	73741	154000	67	27	41	155367	2,11	0,378	38972283
ARALIK	9577	11,6	111091	154000	64	22	37	155306	1,40	0,511	82275303

EK-19. PDO %10 olduğunda pencere camı U değeri 3 W/m²k uygulandığında ısı kayıpları ve kazançları tablosu

Aylar	ISI KAYIPLARI (1)			ISI KAZANÇLARI (2)					Kayıp/Kazanç oranı	Kazanç Kullan. Faktör	Aylık Isıtma Enerjisi
	Özgül Isı Kaybı H W/K	Sıcaklık Farkı Ti-Td	Isı Kayıpları H*(Ti-Td) W	İç Isı Kazancı Q1-(W)	Ort.Aylık Güneş Işınım Şiddeti Değerleri.			(2) Toplam Kazanç Q1+ Qgü W			
					Güney camlar Ig W/m2	Kuzey camlar Ig W/m2	Doğu- Batı camlar Ig W/m2				
OCAK	9511	13,0	123640	154000	72	26	43	155469	1,26	0,549	99441818
ŞUBAT	9511	11,7	111276	154000	84	37	57	155714	1,40	0,511	82350620
MART	9511	9,5	90353	154000	95	52	77	155938	1,73	0,440	56455035
NİSAN	9511	5,3	50407	154000	83	66	90	155693	3,09	0,277	19051167
MAYIS	9511	0,4	3804	154000	92	79	114	155877	40,97	0,024	120356
HAZİRAN	9511	-4,4	-41848	154000	95	83	122	155938	-3,73	-0,308	15933818
TEMMUZ	9511	-7,0	-66576	154000	93	81	118	155897	-2,34	-0,533	42675639
AĞUSTOS	9511	-6,2	-58967	154000	93	73	106	155897	-2,64	-0,460	32899503
EYLÜL	9511	-2,3	-21875	154000	89	57	81	155816	-7,12	-0,151	4166217
EKİM	9511	2,9	27581	154000	82	40	59	155673	5,64	0,162	5981366
KASIM	9511	7,7	73233	154000	67	27	41	155367	2,12	0,376	38475812
ARALIK	9511	11,6	110325	154000	64	22	37	155306	1,41	0,509	81263709

EK-20. PDO %10 olduğunda pencere camı U değeri 2 W/m²k uygulandığında ısı kayıpları ve kazançları tablosu

Aylar	ISI KAYIPLARI (1)			ISI KAZANÇLARI (2)					Kayıp/Kazanç oranı	Kazanç Kullan. Faktör	Aylık Isıtma Enerjisi
	Özgül Isı Kaybı H W/K	Sıcaklık Farkı Ti-Td	Isı Kayıpları H*(Ti-Td) W	İç Isı Kazancı Q1-(W)	Ort.Aylık Güneş Işınım Şiddeti Değerleri.			(2) Toplam Kazanç Q1+ Qgü W			
					Güney camlar Ig W/m2	Kuzey camlar Ig W/m2	Doğu- Batı camlar Ig W/m2				
OCAK	9481	13,0	123250	154000	72	26	43	155469	1,26	0,547	98887870
ŞUBAT	9481	11,7	110925	154000	84	37	57	155714	1,40	0,509	81886548
MART	9481	9,5	90068	154000	95	52	77	155938	1,73	0,439	56130526
NİSAN	9481	5,3	50248	154000	83	66	90	155693	3,10	0,276	18937313
MAYIS	9481	0,4	3792	154000	92	79	114	155877	41,10	0,024	119604
HAZİRAN	9481	-4,4	-41716	154000	95	83	122	155938	-3,74	-0,307	15828748
TEMMUZ	9481	-7,0	-66366	154000	93	81	118	155897	-2,35	-0,531	42386351
AĞUSTOS	9481	-6,2	-58781	154000	93	73	106	155897	-2,65	-0,458	32678388
EYLÜL	9481	-2,3	-21806	154000	89	57	81	155816	-7,15	-0,150	4139331
EKİM	9481	2,9	27494	154000	82	40	59	155673	5,66	0,162	5944789
KASIM	9481	7,7	73002	154000	67	27	41	155367	2,13	0,375	38251031
ARALIK	9481	11,6	109977	154000	64	22	37	155306	1,41	0,507	80805481

EK-10. PDO %90 olduğunda pencere camı U değeri 5,2 W/m²k uygulandığında ısı kayıpları ve kazançları tablosu

Aylar	ISI KAYIPLARI (1)			ISI KAZANÇLARI (2)					Kayıp/Kazanç oranı	Kazanç Kullan. Faktör	Aylık Isıtma Enerjisi
	Özgül Isı Kaybı H W/K	Sıcaklık Farkı Ti-Td	Isı Kayıpları H*(Ti-Td) W	İç Isı Kazancı Q1-(W)	Ort.Aylık Güneş Işınım Şiddeti Değerleri.			(2) Toplam Kazanç Q1+ Qgü W			
					Güney camlar Ig W/m2	Kuzey camlar Ig W/m2	Doğu- Batı camlar Ig W/m2				
OCAK	10825	13,0	140722	154000	72	26	43	167219	1,19	0,569	118165043
ŞUBAT	10825	11,7	126650	154000	84	37	57	169422	1,34	0,526	97097622
MART	10825	9,5	102836	154000	95	52	77	171442	1,67	0,451	66109125
NİSAN	10825	5,3	57371	154000	83	66	90	169239	2,95	0,287	22594253
MAYIS	10825	0,4	4330	154000	92	79	114	170891	39,47	0,025	142123
HAZİRAN	10825	-4,4	-47629	154000	95	83	122	171442	-3,60	-0,320	18836648
TEMMUZ	10825	-7,0	-75774	154000	93	81	118	171075	-2,26	-0,557	50665832
AĞUSTOS	10825	-6,2	-67114	154000	93	73	106	171075	-2,55	-0,480	39032420
EYLÜL	10825	-2,3	-24897	154000	89	57	81	170340	-6,84	-0,157	4946770
EKİM	10825	2,9	31392	154000	82	40	59	169055	5,39	0,169	7114939
KASIM	10825	7,7	83351	154000	67	27	41	166301	2,00	0,394	46138432
ARALIK	10825	11,6	125568	154000	64	22	37	165750	1,32	0,531	97272067

EK-22. PDO %90 olduğunda pencere camı U değeri 3 W/m²k uygulandığında ısı kayıpları ve kazançları tablosu

Aylar	ISI KAYIPLARI (1)			ISI KAZANÇLARI (2)					Kayıp/Kazanç oranı	Kazanç Kullan. Faktör	Aylık Isıtma Enerjisi
	Özgül Isı Kaybı H W/K	Sıcaklık Farkı Ti-Td	Isı Kayıpları H*(Ti-Td) W	İç Isı Kazancı Q1-(W)	Ort.Aylık Güneş Işınım Şiddeti Değerleri.			(2) Toplam Kazanç Q1+ Qgü W			
					Güney camlar Ig W/m2	Kuzey camlar Ig W/m2	Doğu- Batı camlar Ig W/m2				
OCAK	10231	13,0	133000	154000	72	26	43	167219	1,26	0,549	106979293
ŞUBAT	10231	11,7	119700	154000	84	37	57	169422	1,42	0,507	87790972
MART	10231	9,5	97193	154000	95	52	77	171442	1,76	0,433	59644374
NİSAN	10231	5,3	54223	154000	83	66	90	169239	3,12	0,274	20302094
MAYIS	10231	0,4	4092	154000	92	79	114	170891	41,76	0,024	127072
HAZİRAN	10231	-4,4	-45016	154000	95	83	122	171442	-3,81	-0,300	16736185
TEMMUZ	10231	-7,0	-71616	154000	93	81	118	171075	-2,39	-0,520	44864741
AĞUSTOS	10231	-6,2	-63431	154000	93	73	106	171075	-2,70	-0,449	34599716
EYLÜL	10231	-2,3	-23531	154000	89	57	81	170340	-7,24	-0,148	4406326
EKİM	10231	2,9	29669	154000	82	40	59	169055	5,70	0,161	6376903
KASIM	10231	7,7	78777	154000	67	27	41	166301	2,11	0,377	41564368
ARALIK	10231	11,6	118677	154000	64	22	37	165750	1,40	0,511	87961183

EK-23. PDO %90 olduğunda pencere camı U değeri 2 W/m²k uygulandığında ısı kayıpları ve kazançları tablosu

Aylar	ISI KAYIPLARI (1)			ISI KAZANÇLARI (2)					Kayıp/Kazanç oranı	Kazanç Kullan. Faktör	Aylık Isıtma Enerjisi
	Özgül Isı Kaybı H W/K	Sıcaklık Farkı Ti-Td	Isı Kayıpları H*(Ti-Td) W	İç Isı Kazancı Q1-(W)	Ort.Aylık Güneş Işınım Şiddeti Değerleri.			(2) Toplam Kazanç Q1+ Qgü W			
					Güney camlar Ig W/m2	Kuzey camlar Ig W/m2	Doğu- Batı camlar Ig W/m2				
OCAK	9961	13,0	129490	154000	72	26	43	167219	1,29	0,539	102031635
ŞUBAT	9961	11,7	116541	154000	84	37	57	169422	1,45	0,497	83680291
MART	9961	9,5	94628	154000	95	52	77	171442	1,81	0,424	56795587
NİSAN	9961	5,3	52792	154000	83	66	90	169239	3,21	0,268	19296499
MAYIS	9961	0,4	3984	154000	92	79	114	170891	42,89	0,023	120507
HAZİRAN	9961	-4,4	-43828	154000	95	83	122	171442	-3,91	-0,291	15825934
TEMMUZ	9961	-7,0	-69726	154000	93	81	118	171075	-2,45	-0,503	42360047
AĞUSTOS	9961	-6,2	-61757	154000	93	73	106	171075	-2,77	-0,435	32683640
EYLÜL	9961	-2,3	-22910	154000	89	57	81	170340	-7,44	-0,144	4171463
EKİM	9961	2,9	28886	154000	82	40	59	169055	5,85	0,157	6054026
KASIM	9961	7,7	76698	154000	67	27	41	166301	2,17	0,369	39552024
ARALIK	9961	11,6	115545	154000	64	22	37	165750	1,43	0,502	83848001

EK-11. PDO %90 olduğu ve iç mekan kat yüksekliği 23 metre olarak uygulanan yapıda ısı kayıpları ve kazançları tablosu

Aylar	ISI KAYIPLARI (1)			ISI KAZANÇLARI (2)					Kayıp/Kazanç oranı	Kazanç Kullan. Faktör	Aylık Isıtma Enerjisi
	Özgül Isı Kaybı H W/K	Sıcaklık Farkı Ti-Td	Isı Kayıpları H*(Ti-Td) W	İç Isı Kazancı Q1-(W)	Ort.Aylık Güneş Işınım Şiddeti Değerleri.			(2) Toplam Kazanç Q1+ Qgü W			
					Güney camlar Ig W/m2	Kuzey camlar Ig W/m2	Doğu- Batı camlar Ig W/m2				
OCAK	19006	13,0	247073	336000	72	26	43	349219	1,41	0,507	181407547
ŞUBAT	19006	11,7	222366	336000	84	37	57	351422	1,58	0,469	149310780
MART	19006	9,5	180553	336000	95	52	77	353442	1,96	0,400	101565059
NİSAN	19006	5,3	100730	336000	83	66	90	351239	3,49	0,249	34122373
MAYIS	19006	0,4	7602	336000	92	79	114	352891	46,42	0,021	212733
HAZİRAN	19006	-4,4	-83625	336000	95	83	122	353442	-4,23	-0,267	27761566
TEMMUZ	19006	-7,0	-133039	336000	93	81	118	353075	-2,65	-0,458	73906017
AĞUSTOS	19006	-6,2	-117835	336000	93	73	106	353075	-3,00	-0,396	57098600
EYLÜL	19006	-2,3	-43713	336000	89	57	81	352340	-8,06	-0,132	7315085
EKİM	19006	2,9	55116	336000	82	40	59	351055	6,37	0,145	10662810
KASIM	19006	7,7	146343	336000	67	27	41	348301	2,38	0,343	69633789
ARALIK	19006	11,6	220465	336000	64	22	37	347750	1,58	0,469	148265009

EK-12. PDO %90 olduğu ve iç mekan kat yüksekliği 15 metre olarak uygulanan yapıda ısı kayıpları ve kazançları tablosu

Aylar	ISI KAYIPLARI (1)			ISI KAZANÇLARI (2)					Kayıp/Kazanç oranı	Kazanç Kullan. Faktör	Aylık Isıtma Enerjisi
	Özgül Isı Kaybı H W/K	Sıcaklık Farkı Ti-Td	Isı Kayıpları H*(Ti-Td) W	İç Isı Kazancı Q1-(W)	Ort.Aylık Güneş Işınım Şiddeti Değerleri.			(2) Toplam Kazanç Q1+ Qgü W			
					Güney camlar Ig W/m2	Kuzey camlar Ig W/m2	Doğu- Batı camlar Ig W/m2				
OCAK	13439	13,0	174704	224000	72	26	43	237219	1,36	0,521	132386118
ŞUBAT	13439	11,7	157234	224000	84	37	57	239422	1,52	0,481	108791693
MART	13439	9,5	127669	224000	95	52	77	241442	1,89	0,411	73930309
NİSAN	13439	5,3	71226	224000	83	66	90	239239	3,36	0,257	24960271
MAYIS	13439	0,4	5376	224000	92	79	114	240891	44,81	0,022	155725
HAZİRAN	13439	-4,4	-59131	224000	95	83	122	241442	-4,08	-0,277	20378455
TEMMUZ	13439	-7,0	-94072	224000	93	81	118	241075	-2,56	-0,477	54378823
AĞUSTOS	13439	-6,2	-83321	224000	93	73	106	241075	-2,89	-0,413	41988168
EYLÜL	13439	-2,3	-30909	224000	89	57	81	240340	-7,78	-0,137	5370440
EKİM	13439	2,9	38973	224000	82	40	59	239055	6,13	0,150	7813333
KASIM	13439	7,7	103479	224000	67	27	41	236301	2,28	0,355	51034927
ARALIK	13439	11,6	155890	224000	64	22	37	235750	1,51	0,484	108458746

EK-26. PDO %90 olduğu ve iç mekan kat yüksekliği 10 metre olarak uygulanan yapıda ısı kayıpları ve kazançları tablosu

Aylar	ISI KAYIPLARI (1)			ISI KAZANÇLARI (2)					Kayıp/Kazanç oranı	Kazanç Kullan. Faktör	Aylık Isıtma Enerjisi
	Özgül Isı Kaybı H W/K	Sıcaklık Farkı Ti-Td	Isı Kayıpları H*(Ti-Td) W	İç Isı Kazancı Q1-(W)	Ort.Aylık Güneş Işınım Şiddeti Değerleri.			(2) Toplam Kazanç Q1+ Qgü W			
					Güney camlar Ig W/m2	Kuzey camlar Ig W/m2	Doğu- Batı camlar Ig W/m2				
OCAK	9961	13,0	129490	154000	72	26	43	167219	1,29	0,539	102031635
ŞUBAT	9961	11,7	116541	154000	84	37	57	169422	1,45	0,497	83680291
MART	9961	9,5	94628	154000	95	52	77	171442	1,81	0,424	56795587
NİSAN	9961	5,3	52792	154000	83	66	90	169239	3,21	0,268	19296499
MAYIS	9961	0,4	3984	154000	92	79	114	170891	42,89	0,023	120507
HAZİRAN	9961	-4,4	-43828	154000	95	83	122	171442	-3,91	-0,291	15825934
TEMMUZ	9961	-7,0	-69726	154000	93	81	118	171075	-2,45	-0,503	42360047
AĞUSTOS	9961	-6,2	-61757	154000	93	73	106	171075	-2,77	-0,435	32683640
EYLÜL	9961	-2,3	-22910	154000	89	57	81	170340	-7,44	-0,144	4171463
EKİM	9961	2,9	28886	154000	82	40	59	169055	5,85	0,157	6054026
KASIM	9961	7,7	76698	154000	67	27	41	166301	2,17	0,369	39552024
ARALIK	9961	11,6	115545	154000	64	22	37	165750	1,43	0,502	83848001

EK-27. PDO %10 olduğu ve iç mekan kat yüksekliği 23 metre olarak uygulanan yapıda ısı kayıpları ve kazançları tablosu

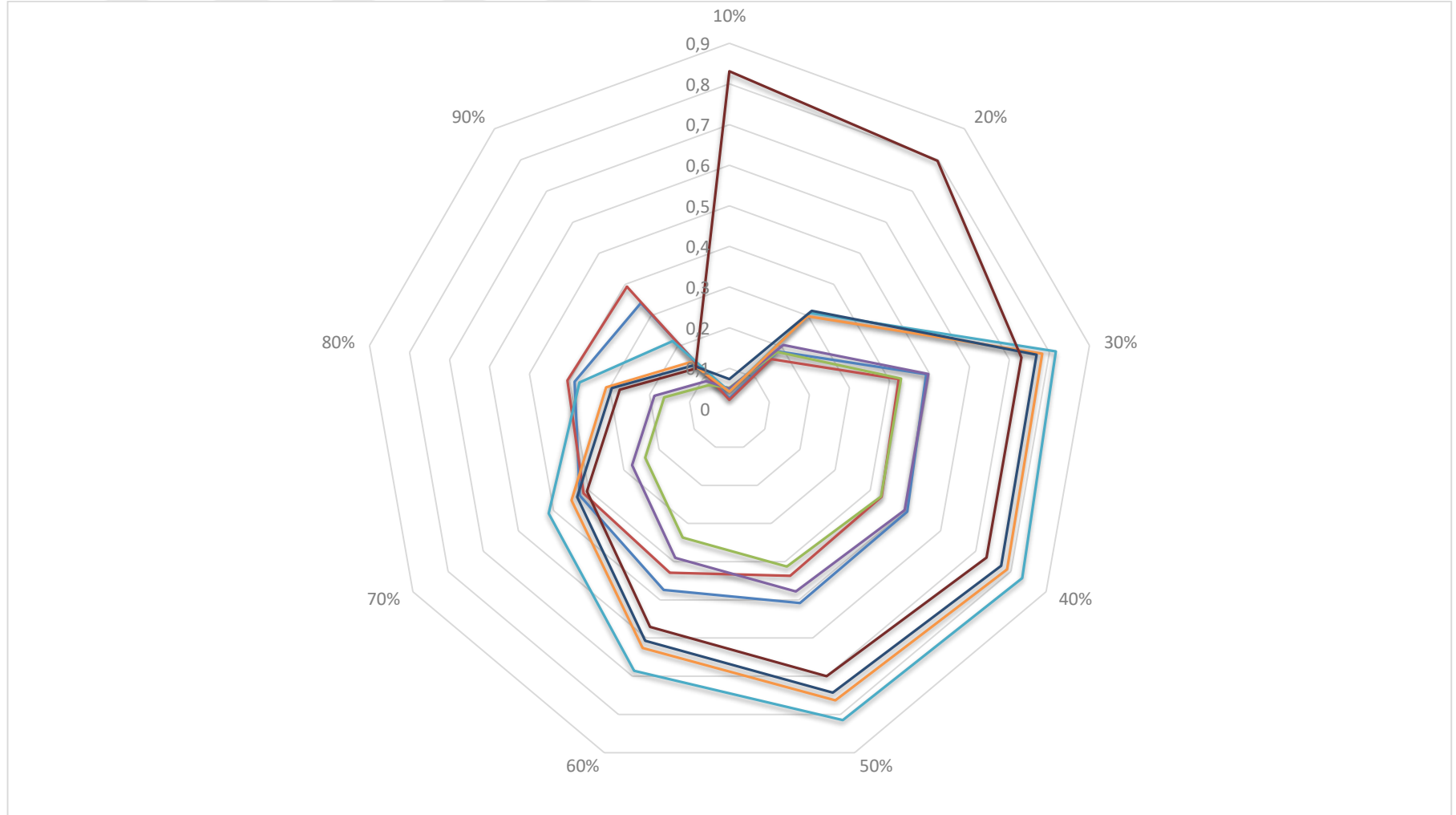
Aylar	ISI KAYIPLARI (1)			ISI KAZANÇLARI (2)					Kayıp/Kazanç oranı	Kazanç Kullan. Faktör	Aylık Isıtma Enerjisi
	Özgül Isı Kaybı H W/K	Sıcaklık Farkı Ti-Td	Isı Kayıpları H*(Ti-Td) W	İç Isı Kazancı Q1-(W)	Ort.Aylık Güneş Işınım Şiddeti Değerleri.			(2) Toplam Kazanç Q1+ Qgü W			
					Güney camlar Ig W/m2	Kuzey camlar Ig W/m2	Doğu- Batı camlar Ig W/m2				
OCAK	17900	13,0	232695	336000	72	26	43	339672	1,46	0,496	166537241
ŞUBAT	17900	11,7	209425	336000	84	37	57	340284	1,62	0,460	137487628
MART	17900	9,5	170046	336000	95	52	77	340845	2,00	0,393	93760966
NİSAN	17900	5,3	94868	336000	83	66	90	340233	3,59	0,243	31325321
MAYIS	17900	0,4	7160	336000	92	79	114	340692	47,58	0,021	195532
HAZİRAN	17900	-4,4	-78758	336000	95	83	122	340845	-4,33	-0,260	25485136
TEMMUZ	17900	-7,0	-125297	336000	93	81	118	340743	-2,72	-0,444	67707802
AĞUSTOS	17900	-6,2	-110978	336000	93	73	106	340743	-3,07	-0,385	52330160
EYLÜL	17900	-2,3	-41169	336000	89	57	81	340539	-8,27	-0,128	6705807
EKİM	17900	2,9	51909	336000	82	40	59	340182	6,55	0,142	9774575
KASIM	17900	7,7	137827	336000	67	27	41	339417	2,46	0,334	63661343
ARALIK	17900	11,6	207635	336000	64	22	37	339264	1,63	0,458	135693721

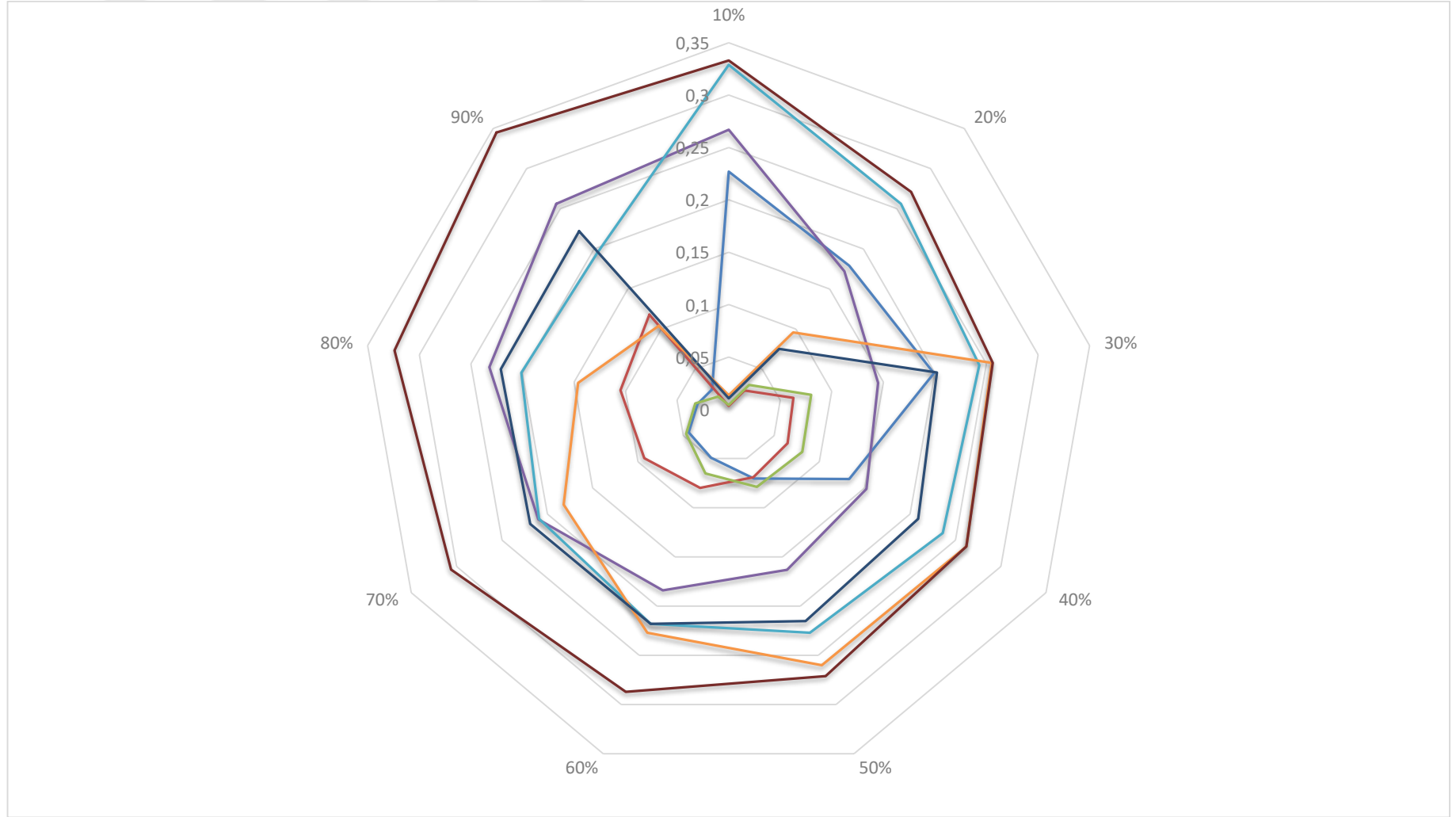
EK-28. PDO %10 olduğu ve iç mekan kat yüksekliği 15 metre olarak uygulanan yapıda ısı kayıpları ve kazançları tablosu

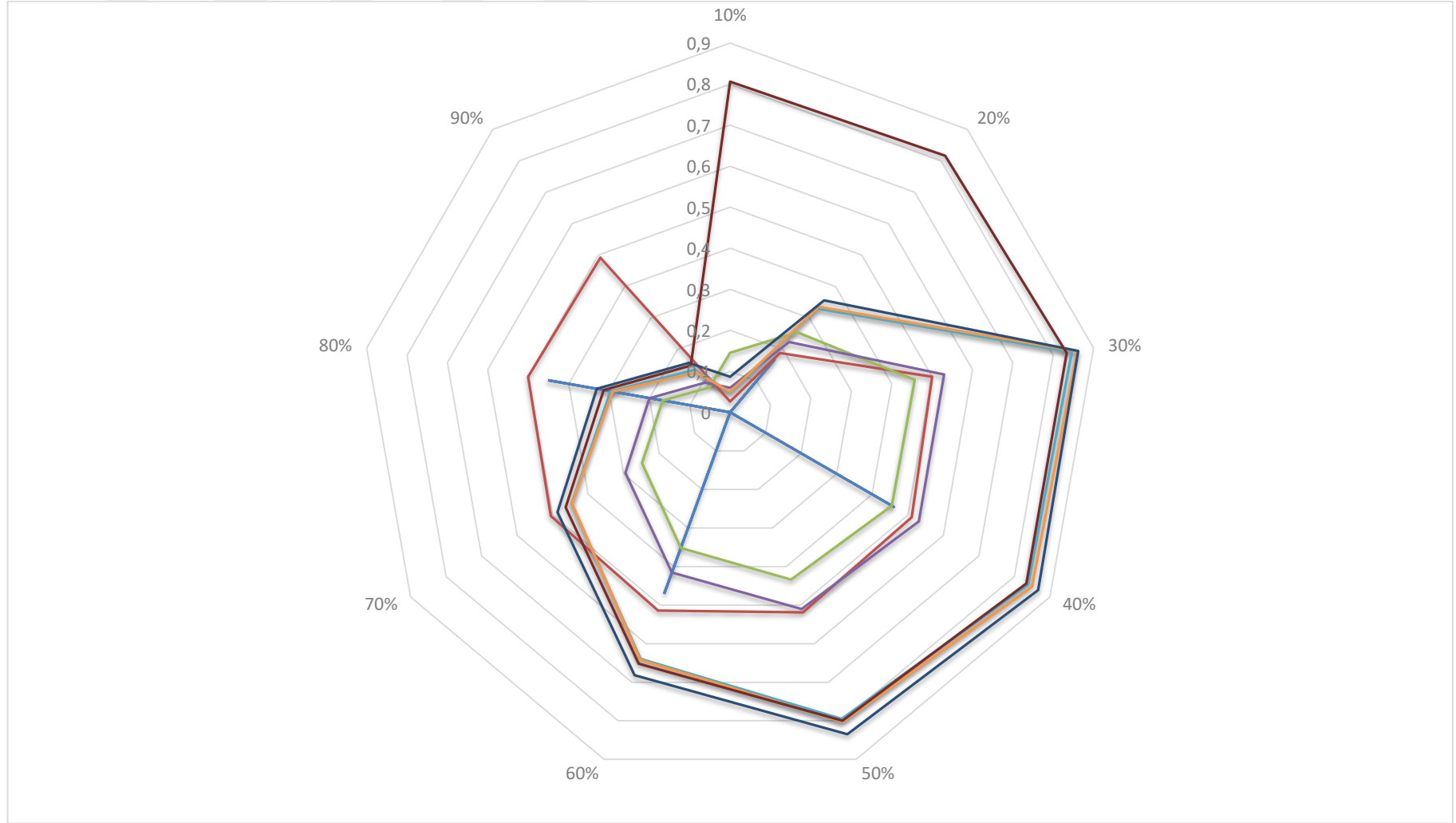
Aylar	ISI KAYIPLARI (1)			ISI KAZANÇLARI (2)					Kayıp/Kazanç oranı	Kazanç Kullan. Faktör	Aylık Isıtma Enerjisi
	Özgül Isı Kaybı H W/K	Sıcaklık Farkı Ti-Td	Isı Kayıpları H*(Ti-Td) W	İç Isı Kazancı Q1-(W)	Ort.Aylık Güneş Işınım Şiddeti Değerleri.			(2) Toplam Kazanç Q1+ Qgü W			
					Güney camlar Ig W/m2	Kuzey camlar Ig W/m2	Doğu- Batı camlar Ig W/m2				
OCAK	12719	13,0	165344	224000	72	26	43	226570	1,37	0,518	124399501
ŞUBAT	12719	11,7	148810	224000	84	37	57	226999	1,53	0,481	102815816
MART	12719	9,5	120829	224000	95	52	77	227392	1,88	0,412	70256778
NİSAN	12719	5,3	67410	224000	83	66	90	226963	3,37	0,257	23571953
MAYIS	12719	0,4	5088	224000	92	79	114	227284	44,67	0,022	147829
HAZİRAN	12719	-4,4	-55963	224000	95	83	122	227392	-4,06	-0,279	19389383
TEMMUZ	12719	-7,0	-89032	224000	93	81	118	227320	-2,55	-0,479	51681876
AĞUSTOS	12719	-6,2	-78857	224000	93	73	106	227320	-2,88	-0,415	39903285
EYLÜL	12719	-2,3	-29253	224000	89	57	81	227177	-7,77	-0,137	5089416
EKİM	12719	2,9	36885	224000	82	40	59	226927	6,15	0,150	7373766
KASIM	12719	7,7	97935	224000	67	27	41	226392	2,31	0,351	47792787
ARALIK	12719	11,6	147538	224000	64	22	37	226285	1,53	0,479	101492469

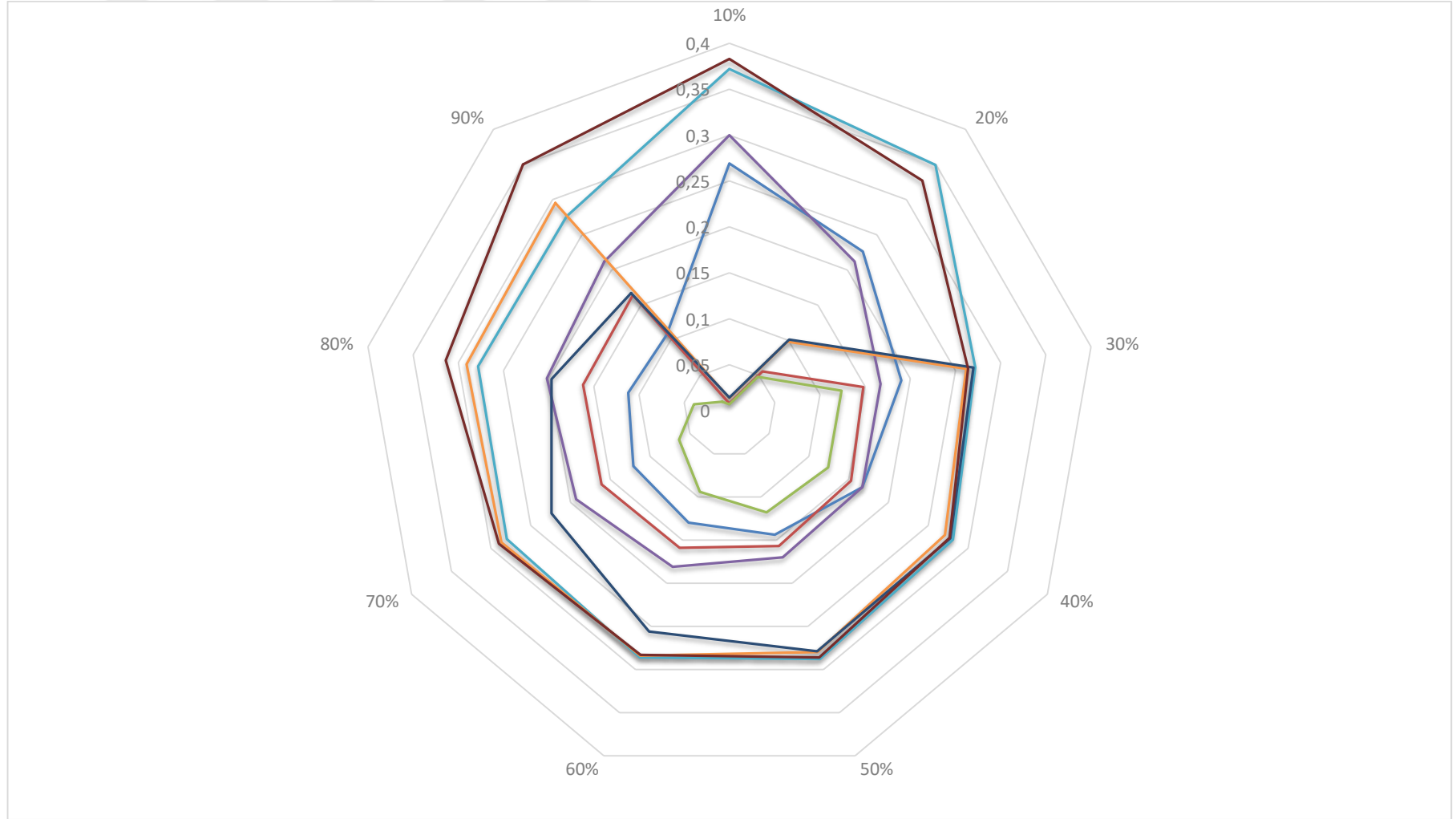
EK-13. PDO %10 olduğu ve iç mekan kat yüksekliği 10 metre olarak uygulanan yapıda ısı kayıpları ve kazançları tablosu

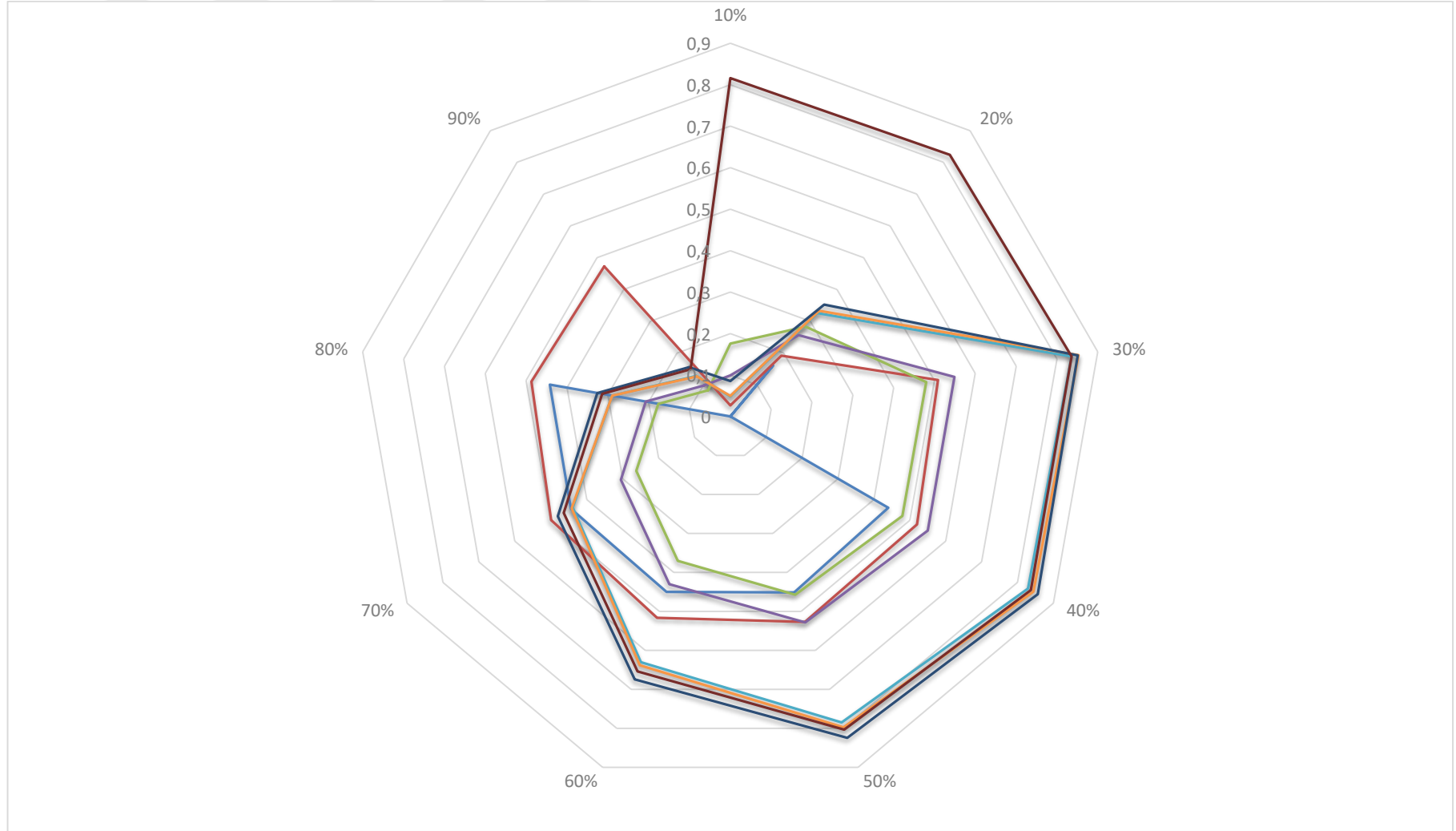
Aylar	ISI KAYIPLARI (1)			ISI KAZANÇLARI (2)					Kayıp/Kazanç oranı	Kazanç Kullan. Faktör	Aylık Isıtma Enerjisi
	Özgül Isı Kaybı H W/K	Sıcaklık Farkı Ti-Td	Isı Kayıpları H*(Ti-Td) W	İç Isı Kazancı Q1-(W)	Ort.Aylık Güneş Işınım Şiddeti Değerleri.			(2) Toplam Kazanç Q1+ Qgü W			
					Güney camlar Ig W/m2	Kuzey camlar Ig W/m2	Doğu- Batı camlar Ig W/m2				
OCAK	9481	13,0	123250	154000	72	26	43	155469	1,26	0,547	98887870
ŞUBAT	9481	11,7	110925	154000	84	37	57	155714	1,40	0,509	81886548
MART	9481	9,5	90068	154000	95	52	77	155938	1,73	0,439	56130526
NİSAN	9481	5,3	50248	154000	83	66	90	155693	3,10	0,276	18937313
MAYIS	9481	0,4	3792	154000	92	79	114	155877	41,10	0,024	119604
HAZİRAN	9481	-4,4	-41716	154000	95	83	122	155938	-3,74	-0,307	15828748
TEMMUZ	9481	-7,0	-66366	154000	93	81	118	155897	-2,35	-0,531	42386351
AĞUSTOS	9481	-6,2	-58781	154000	93	73	106	155897	-2,65	-0,458	32678388
EYLÜL	9481	-2,3	-21806	154000	89	57	81	155816	-7,15	-0,150	4139331
EKİM	9481	2,9	27494	154000	82	40	59	155673	5,66	0,162	5944789
KASIM	9481	7,7	73002	154000	67	27	41	155367	2,13	0,375	38251031
ARALIK	9481	11,6	109977	154000	64	22	37	155306	1,41	0,507	80805481

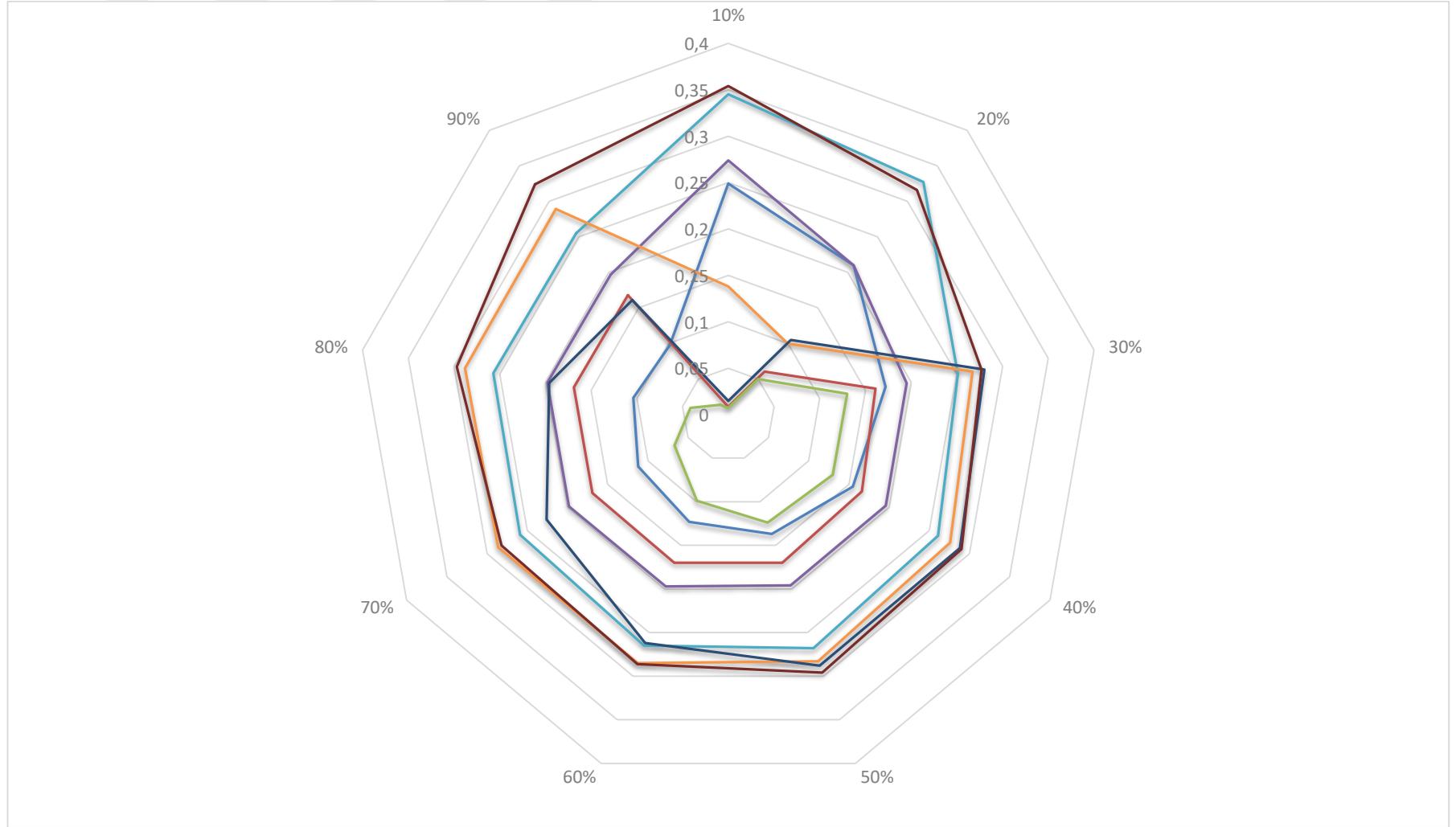
EK-30. Güneye yönlendirilen binada yalıtımı yetersiz yapı elemanlarının pencere duvar oranı ile enerji ihtiyacı radar grafiği

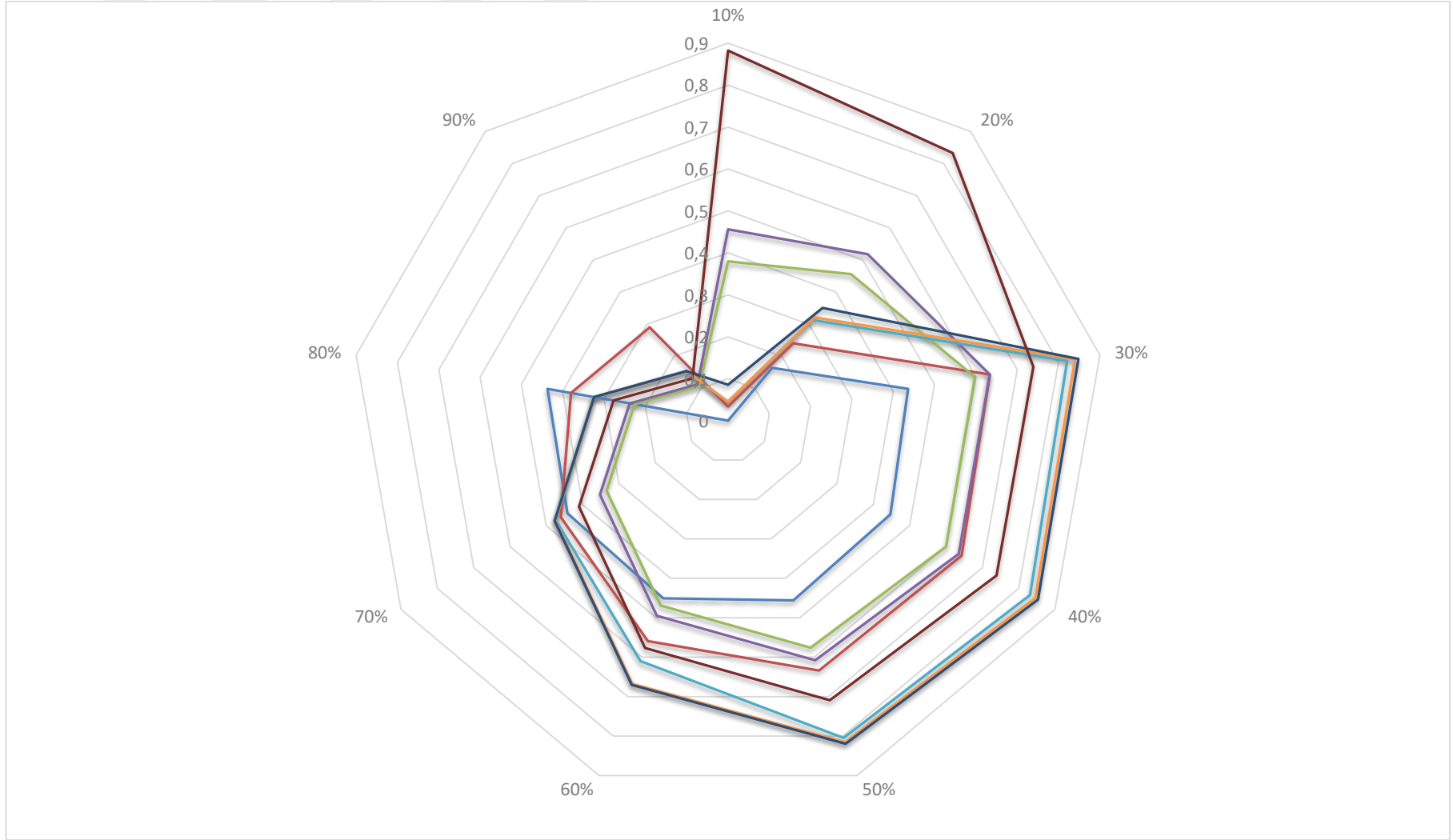
EK-31. Güneye yönlendirilen binada yalıtımı yüksek yapı elemanlarının pencere duvar oranı ile enerji ihtiyacı radar grafiği

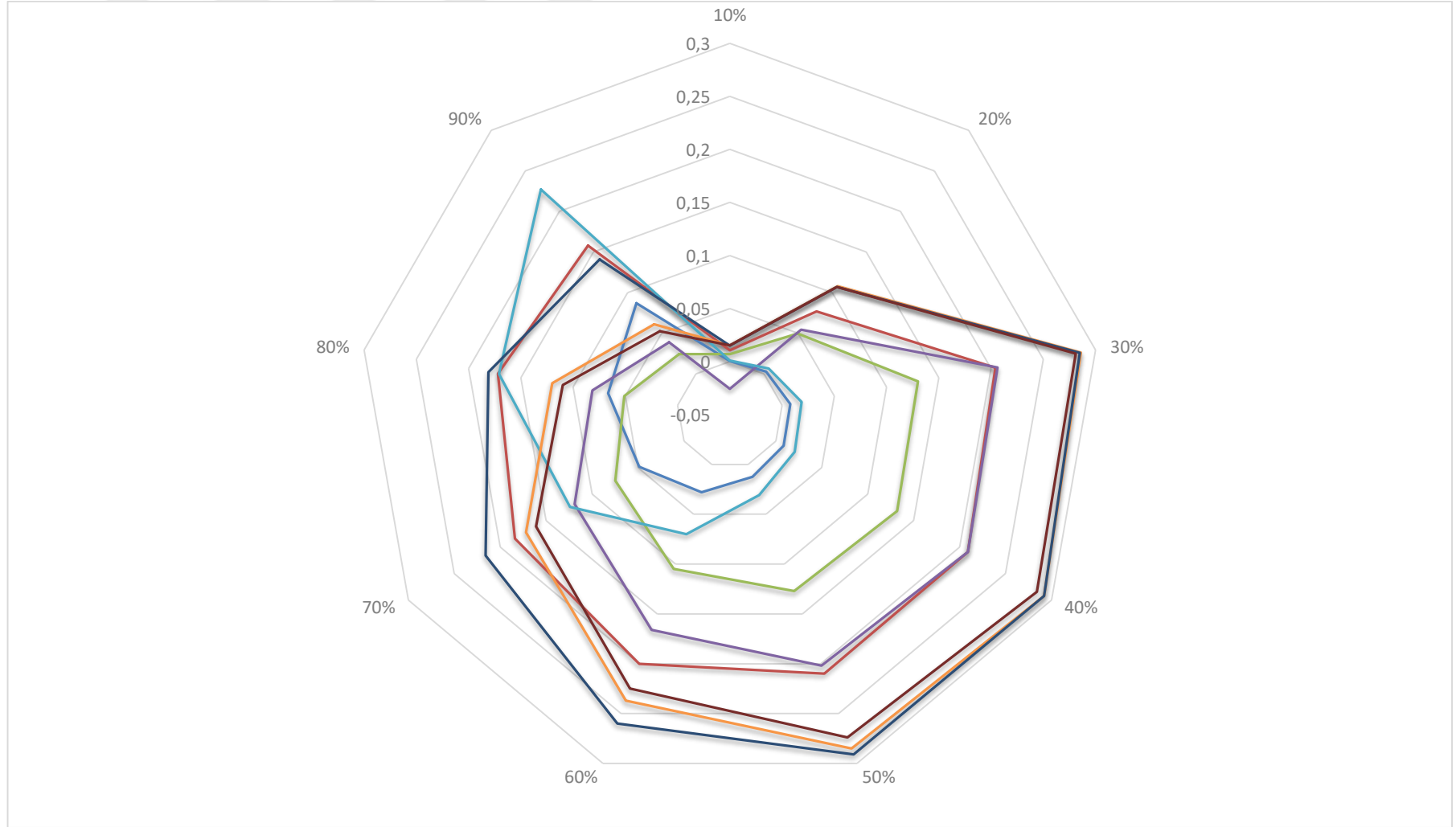
EK-32. Kuzeye yönlendirilen binada yalıtımı yetersiz yapı elemanlarının pencere duvar oranı ile enerji ihtiyacı radar grafiği

EK-33. Kuzeye yönlendirilen binada yalıtımı yüksek yapı elemanlarının pencere duvar oranı ile enerji ihtiyacı radar grafiği

EK-34. Doğuya yönlendirilen binada yalıtımı yetersiz yapı elemanlarının pencere duvar oranı ile enerji ihtiyacı radar grafiği

EK-35. Doğuya yönlendirilen binada yalıtımı yüksek yapı elemanlarının pencere duvar oranı ile enerji ihtiyacı radar grafiği

EK-36. Batıya yönlendirilen binada yalıtımı yetersiz yapı elemanlarının pencere duvar oranı ile enerji ihtiyacı radar grafiği

EK-37. Batıya yönlendirilen binada yalıtımı yetersiz yapı elemanlarının pencere duvar oranı ile enerji ihtiyacı radar grafiği



ÖZGEÇMİŞ

SETENAY UÇAR

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Doktora 2018-2023	Akdeniz Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Ana Bilim Dalı, Antalya
Yüksek Lisans 2015-2018	İstanbul Arel Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Ana Bilim Dalı, İstanbul
Lisans 2012-2016	İstanbul Arel Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İç Mimarlık Bölümü / Çift Anadal, İstanbul
Lisans 2011-2015	İstanbul Arel Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul

MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Bölüm Başkanı 2022-Devam Ediyor	Antalya Bilim Üniversitesi Meslek Yüksekokulu, İnşaat Teknolojileri Programı, Antalya
Öğretim Görevlisi 2018-Devam Ediyor	Antalya Bilim Üniversitesi - Meslek Yüksekokulu, İnşaat Teknolojileri Programı, Antalya - Güzel Sanatlar ve Mimarlık Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü, Antalya

ESERLER

Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler

1. Uçar, S., Sağsöz, A. (2022). Uzaktan ve Yüz Yüze Eğitimin Stüdyo Derslerine Etkisi: Antalya Bilim Üniversitesi Güzel Sanatlar ve Mimarlık Fakültesi Örneği. Turkish Studies, 17(6), 1617-1637., Doi: 10.7827/TurkishStudies.63227
2. Uçar, S., Akıner, İ. (2022). Comparison of Passivhaus Concept Buildings Used for Indoor Swimming Pools in Cold and Hot Climates. Anlambilim MTÜ Sosyal ve Beşeri Bilimler Dergisi, 2(2), 122-135.
3. Izadpanah, S. ve Uçar, S. (2022). User Preferences and Dislikes Concerning Sensory Stimulation in Shopping Center Resting Areas. Uluslararası Akademik Birikim Dergisi, 5(5), 246- 259.
4. Demir, E. ve Uçar, S. (2021). Trafik Akışının Fotovoltaik Panellerin Elektrik Üretim Verimine Etkisi. Kent Akademisi, 14(2), 335-346., Doi: 10.35674/kent.873920
5. Uçar, S., ve Akıner, İ. (2020). Yerel Yönetimlerin Kurumsal Çevre Sorumluluğunda Binalarda Fotovoltaik (PV) Panel Kullanımlarının Önemi. Kent Akademisi, 13(4), 584-598., Doi: 10.35674/kent.746083
6. Sağsöz, A., Izadpanah, S. ve Uçar, S. (2020). Maliyet Analizi ile İlgili Derslerin, Serbest Çalışan İç Mimarlar Açısından, Önemi Üzerine Bir Araştırma. Journal of Turkish Studies, 15(3), 2127-2139., Doi: 10.29228/TurkishStudies.41837
8. Çelikel, S. B. ve Uçar, S. (2020). Biyomimikri: Doğayla Uyumlu Yeni Bir Tasarım Modeli. Humanities Sciences, 15(2), 51-61.

Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında (proceedings)

basılan bildiriler

1. Izadpanah, S., Sağdöz, A. ve Uçar, S. (2019). Importance of including contents related with cost analysis in interior architecture bachelor programs: a survey in Turkey, Antalya. II. International Symposium Education in Interior Architecture, 64-71. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)
2. Mutlu Danacı, H., Uçar, S., ve Ekin, O. H. (2019). A Climatic Factor Based Assessment of Solar Panels. 7th Global Congress on Renewable Energy and Environment (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)
3. Uçar, S. (2019). Mimari Açıdan Biyomimikrinin Tasarım Paradigması Olarak Değerlendirilmesi. 3. International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies, 4(3), 213-219. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)

4. Uçar, S. (2019). Turgut Cansever'xxin Mimari Tasarım Yaklaşımı Bölgeselcilik Kavramı Antalya Karakaş Camii Örneği. 3. International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies, 4(3), 259-263. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)
5. Akıner, İ. ve Uçar, S. (2018). Kurumsal Sosyal Sorumluluk: İnşaat Sektörü için Sürdürülebilirlik Bağlamında Kavramsal Bir Çerçeve. 2. International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies, 3, 748-753. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)

Yazılan ulusal/uluslararası kitaplardaki bölümler

1. Mimarlık Planlama ve Tasarım Alanında Araştırma ve Değerlendirmeler – II, Bölüm adı:(Bodrum Demir Evleri Mimarisini Göstergebilimsel Bir Yaklaşımla Analizi) (2021)., Uçar, S, Gece Kitaplığı, Basım sayısı:1, ISBN:978-625-8075-41-0, Türkçe (Bilimsel Kitap)
2. Mimarlık Planlama ve Tasarım Alanında Teori ve Araştırmalar, Bölüm adı:(Eğitim Yapılarında Güneş Panellerinin Kullanımlarının Değerlendirilmesi ve Mimari Tasarıma Etkisi) (2020)., Uçar, S ve AK, M. F., Gece Kitaplığı Yayınevi, Basım sayısı:1, ISBN:978-625-7243-68-1, Türkçe (Bilimsel Kitap)

Ulusal hakemli dergilerde yayımlanan makaleler

1. Uçar, S. ve Akıner, İ. (2020). Yerel Yönetimlerin Kurumsal Çevre Sorumluluğunda Binalarda Fotovoltaik Panel (PV) Kullanımlarının Önemi. Kent Akademisi, 13(4), 584-598., Doi:10.35674/kent.746083
2. Bulut Karaca, Ü. ve Uçar, S. (2018). Konut Çatı Ve Cephelerinde Farklı Fotovoltaik Sistem Uygulamalarının Değerlendirilmesi. Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 19(2), 65-76.

Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler:

1. Uçar, S. ve Kokulu, N. (2018). Antalya Bölgesinde Yeni Tasarlanacak Binalarda Güneş Panellerinin Kullanım Potansiyelinin İncelenmesi. 4. Ulusal Yapı Kongresi, 1, 377-386. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)
2. Kokulu, N. ve Uçar, S. (2018). Alüminyum Oksinitrürün Cam ile Karşılaştırılarak Yapı Malzemesi Olarak Kullanım Potansiyelinin Değerlendirilmesi. 4. Ulusal Yapı Kongresi, 1, 307-314. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)