

**T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MİMARLIK ANABİLİM DALI**



**ENERJİ ETKİN KONUT TASARIMINDA HAVA SIZDIRMAZLIĞI
PARAMETRESİNİN İNCELENMESİ: BALIKESİR ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MUSTAFA SERHAN ÜNLÜTÜRK

BALIKESİR, TEMMUZ - 2020

**T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MİMARLIK ANABİLİM DALI**



**ENERJİ ETKİN KONUT TASARIMINDA HAVA SIZDIRMAZLIĞI
PARAMETRESİNİN İNCELENMESİ: BALIKESİR ÖRNEĞİ**

MUSTAFA SERHAN ÜNLÜTÜRK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Türkan GÖKSAL ÖZBALTA (Tez Danışmanı)
Doç. Dr. Semiha KARTAL
Dr. Öğr. Üyesi Tülay ÇİVİCİ**

BALIKESİR, TEMMUZ - 2020

ETİK BEYAN

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak tarafımda hazırlanan **“ENERJİ ETKİN KONUT TASARIMINDA HAVA SIZDIRMAZLIĞI PARAMETRESİNİN İNCELENMESİ: BALIKESİR ÖRNEĞİ”** başlıklı tezde;

- Tüm bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Kullanılan veriler ve sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tüm bilgi ve sonuçları bilimsel araştırma ve etik ilkelere uygun şekilde sunduğumu,
- Yararlandığım eserlere atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,

beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Mustafa Serhan ÜNLÜTÜRK

(imza)

ÖZET

**ENERJİ ETKİN KONUT TASARIMINDA HAVA SIZDIRMAZLIĞI
PARAMETRESİNİN İNCELENMESİ: BALIKESİR ÖRNEĞİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MUSTAFA SERHAN ÜNLÜTÜRK
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MİMARLIK ANABİLİM DALI**

(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. TÜRKAN GÖKSAL ÖZBALTA)

BALIKESİR, TEMMUZ - 2020

Binanın kullanımı aşamasında enerjinin yoğun olarak kaybedildiği alanlardan biri bina kabuğu olup binalarda enerji verimliliğinin sağlanmasında bina kabuğu sızdırmazlığı önemli etmenlerden biridir. Yapı sektörü enerji tüketiminde diğer ülkelerde de olduğu önemli bir paya sahiptir. Enerjinin büyük bir kısmı binaların yapım aşamasında, önemli bir bölümü de iç mekan konfor koşullarını sağlamak için kullanım aşamasında tüketilmektedir. Bina kabuğunda oluşan hava sızıntısı, enerji tüketiminin artmasına neden olduğu gibi kullanıcı konforunu ve güvenliğini de olumsuz etkileyebilmektedir. Özellikle dış ortamdan gürültü ve insan sağlığına zararlı partiküllerin iç ortama girmesinde hava sızıntısı belirleyici rol oynar. Bina kabuğundaki kontrolsüz hava geçişleri bina enerji verimliliğini etkileyen önemli bir tasarım parametresidir; dolayısı ile sızdırmazlık mimari detay çözümleri, binanın yaşı, uygulamada işçilik kalitesi, doğrama tipi, kullanım alanı büyüklüğü, cephe oranı, duvar malzemesi ve yalıtım uygulaması gibi faktörlerden etkilenir.

Bu tez çalışmasında amaç bina kabuğunda ısı kaybına neden olan ve iç mekan konforunu olumsuz etkileyen hava sızıntılarının alan çalışması ile Balıkesir İlinde yer alan konutlarda ölçümlerle saptanmasıdır. Çalışmada BlowerDoor fan basınçlandırma yöntemi ile 50 Pa basınç altında kırsal ve kent merkezinde rastgele belirlenen 44 örnek konutta sızdırmazlık ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler sonucu elde edilen bina kabuğu hava sızdırmazlık değerleri, TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları ve Avrupa ülkelerinde uygulanan TNI 730 330 ve Pasif Ev Standartları ile karşılaştırılmıştır. Binalarda hava sızdırmazlığında önemli olan bina yapım yılı, konumu, kullanım alanı büyüklüğü, doğrama tipi, duvar malzemesi ve ısı yalıtım durumu gibi farklı ölçütlerin etki düzeyleri istatistiksel analiz (ANOVA ve Post Hoc) yöntemi ile belirlenmiştir.

Sonuçlara göre alan çalışmasında 44 konuta ait hava değişim oranı (n_{50}) değerleri 1,94 - 49,02 h^{-1} arasında elde edilmiştir; TS 825 Standardına göre 7 konut “yüksek”, 12 konut “orta”, 25 konut ise “düşük” düzeyde hava sızdırmazlığı performansı göstermektedir. İncelenen konutların Avrupa Birliği Pasif Ev Standardını ($n_{50} < 0,6$ ach @ 50 Pa) karşılamadığı saptanmıştır; ancak 17 konut 1,94 - 4,50 h^{-1} arasında değişen n_{50} değerleri ile TNI 730 330 kapsamındaki standart değeri ($n_{50}:4,5$) karşılamaktadır. Ayrıca çalışmada uygulanan ANOVA ve Post Hoc testi sonucuna göre bina yapım yılının hava sızdırmazlık değeri üzerinde en etkili parametre olduğu görülmüştür; diğer parametrelerin doğrama tipi, duvar malzemesi, ısı yalıtım durumu ve konut kullanım alanı büyüklüğü şeklinde sıralandığı tespit edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: Hava sızdırmazlık, BlowerDoor Test, bina kabuğu, enerji verimliliği.

Bilim Kod / Kodları : 80302

Sayfa Sayısı :87

ABSTRACT

**INVESTIGATION OF THE AIRTIGHTNESS PARAMETRE IN ENERGY
EFFICIENT HOUSING: EXAMPLE OF BALIKESİR
MSC THESIS
MUSTAFA SERHAN UNLUTURK
BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
ARCHITECTURE**

(SUPERVISOR: PROF. DR. TURKAN GOKSAL OZBALTA)

BALIKESİR, JULY - 2020

One of the areas where energy is lost intensely during the use of the building is the building envelope and the building envelope sealing is one of the important factors in ensuring energy efficiency in buildings. The building sector has an important share in energy consumption as in other countries. Most of the energy is consumed during the construction phase of the buildings and a significant portion of the energy is consumed during the use phase to provide indoor comfort conditions. Air leakage in the building envelope causes an increase in energy consumption and can adversely affect user comfort and safety. Especially, air leakage plays a decisive role in the entry of noise and particles harmful to human health into the indoor environment. Uncontrolled air leakages in the building envelope are an important design parameter affecting building energy efficiency; Therefore, impermeability is affected by factors such as architectural detail solutions, age of the building, quality of workmanship in practice, type of joinery, size of usage area, façade ratio, wall material and insulation.

The aim of the thesis is to determine the air leaks that cause heat loss in the building envelope and negatively affect the indoor comfort by field work and measurements in the houses in Balıkesir Province. In this study, airtightness measurements in the houses were made in 44 sample houses randomly determined in rural and urban centers under 50 Pa pressure with BlowerDoor fan pressurization method. The building envelope airtightness values obtained as a result of the measurements were compared with the TS 825 Building Heat Insulation Rules and the TNI 730330 and Passive House Standards applied in European countries. The effect levels of different criteria such as building construction year, location, size of usage area, joinery type, wall material and heat insulation condition, which are important in airtightness in buildings, were determined by statistical analysis (ANOVA and Post Hoc) method.

According to the results, air exchange rate (n_{50}) values of 44 dwellings were obtained between 1,94 – 49,02 h⁻¹ in the field study; according to TS 825 Standard, 7 houses show “high”, 12 houses show “medium” and 25 houses show “low” airtight performance. It was found that the houses examined did not meet the European Union Passive House Standard ($n_{50} < 0,6$ ach @ 50 Pa); However, 17 houses meet the standard value ($n_{50} : 4,5$) within the scope of TNI 730330 with n_{50} values ranging from 1,94 to 4,50 h⁻¹. In addition, according to the results of ANOVA and Post Hoc tests applied in the study, it was seen that the building construction year was the most effective parameter on the airtightness value; It was determined that the other parameters are listed as window type, wall material, heat insulation condition and size of residential area.

KEYWORDS: Airtightness, BlowerDoor Test, building envelope, energy efficiency

Science Code / Codes : 80302

Page Number :87

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	iv
RESİM LİSTESİ	vi
TABLO LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	viii
KISALTMALAR LİSTESİ	ix
ÖNSÖZ	x
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı	1
1.2 Çalışmanın Kapsamı	2
1.3 Çalışmanın Yöntemi	2
2. ALANYAZIN TARAMASI	5
2.1 Enerji Verimliliği Kavramı ve Tarihçesi	5
2.2 Pasif Evler	9
2.2.1 Pasif Evin Tanımı ve Tarihçesi	9
2.2.2 Pasif Ev Tasarım Kriterleri	11
2.2.3 Pasif Bina Uygulama Örnekleri	12
2.3 Bina Kabuğundaki Sorunlar	21
2.3.1 Isı Köprüleri	21
2.3.2 Nem Sorunları	22
2.3.3 Hava Sızıntıları	22
2.3.3.1 Binalarda Hava Sızıntısı Mekanizması ve Etkenleri	27
2.3.3.2 Hava Sızdırmazlığın Enerji Tüketimi Üzerindeki Etkisi	31
2.3.3.3 Hava Sızdırmazlığı-İnsan Sağlığı Etkileşimi	31
2.4 Hava Sızdırmazlık Ölçüm Teknikleri	32
2.4.1 BlowerDoor Test Ölçümü	32
2.4.2 Hava Sızdırmazlık Simülasyonları	39
3. ALAN ÇALIŞMASI	41
3.1 Balıkesir İli İklim Verileri	41
3.2 Alan Çalışmasında İncelenen Konutlar	44
3.3 Araştırma Yöntemi	48
3.3.1 Varyans Analizi (ANOVA Test) Yöntemi	48
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	50
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	79
6. KAYNAKLAR	81
ÖZGEÇMİŞ	87

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Tezin akış şeması.	4
Şekil 2.1: Kalkınma ve Çevrenin Etkileşim süreci [11].	5
Şekil 2.2: Türkiye'nin toplam nihai enerji tüketimi dağılımı, 2015 [16].	7
Şekil 2.3: AB'nin toplam nihai enerji tüketimi dağılımı, 2011 [17].	7
Şekil 2.4: Binalarda enerji tüketiminin yıllara göre değişimi [18].	8
Şekil 2.5: Avrupa Birliği'nin 2020-2030 yılı hedefleri.	9
Şekil 2.6: Binalarda enerji tüketimi ve CO ₂ emisyon değerleri değişimi [18].	10
Şekil 2.7: Pasif ev standardı 5 ana ilkesinin şematik gösterimi [31].	11
Şekil 2.8: Darmstadt pasif evi - Isıtma enerjisi tüketimi (1991-2016) [33].	13
Şekil 2.9: AMVIC Ofis Binasının Enerji Simülasyon Modeli [36].	14
Şekil 2.10: AMVIC Ofis binasında yapılan kullanıcı konforu anket sonuçları [35].	15
Şekil 2.11: Riedberg İlköğretim Okulu Zemin Kat Planı [40].	17
Şekil 2.12: Riedberg İlköğretim Okulu dış ve iç mekan perspektifleri.	18
Şekil 2.13: Riedberg İlkokulu Enerji Tüketimi [40].	18
Şekil 2.14: Gaziantep Yeşil Ev plan ve kesiti [41].	19
Şekil 2.15: Gaziantep Yeşil Ev çim çatı detayı [41].	20
Şekil 2.16: Isı köprüsü termal kamera görüntüsü.	21
Şekil 2.17: Parametrelerin hava kaçaklarını etkileme yüzdeleri [54].	23
Şekil 2.18: Binalarda hava sızıntısı oluşturabilecek yerler [50].	24
Şekil 2.19: Hava sızdırmazlığı ölçümü [53].	25
Şekil 2.20: Doğrama-duvar birleşimi sızdırmazlık önlemleri [50].	25
Şekil 2.21: Rüzgar Etkisi ile bina kabuğu hava sızıntısı [4].	27
Şekil 2.22: Kış döneminde baca etkisi ile bina kabuğunda hava sızıntısı [4].	28
Şekil 2.23: Mekanik iklimlendirme sistemi etkisi ile bina kabuğunda hava sızıntısı [4]. ..	28
Şekil 2.24: Rüzgar etkisi ile bina etrafındaki basınç dağılımı [4].	30
Şekil 2.25: Fan ile iç ortamda oluşturulan eksi ve artı basınçlandırma [77].	34
Şekil 2.26: q ₅₀ , V ₅₀ değeri görselleştirmesi.	35
Şekil 2.27: BlowerDoor Test ölçümü – Konut 34.	38
Şekil 2.28: Kalibrasyon metodolojisi [79].	39
Şekil 3.1: Köppen-Geiger dünya iklim sınıflandırması haritası [83].	41
Şekil 3.2: Köppen İklim sınıflandırmasına göre Türkiye'nin iklim tipleri [83].	41
Şekil 3.3: Balıkesir İli yıllık ortalama sıcaklık zaman serisi ve trendi [84].	42
Şekil 3.4: Balıkesir İli 2019 yılı sıcaklık değerleri [85].	42
Şekil 3.5: Balıkesir İli 2019 yılı aylık ortalama yağış miktarı [85].	43
Şekil 3.6: Balıkesir İli 2019 yılı aylık rüzgâr hızı [85].	43
Şekil 3.7: Balıkesir İli rüzgar yönü ve şiddeti.	44
Şekil 3.8: Balıkesir kent merkezinde incelenen konutların konumları.	45
Şekil 4.1: Kullanım alanı büyüklüğüne göre en düşük ve ortalama n ₅₀ değerleri.	51
Şekil 4.2: Kullanım alanı büyüklüklerine göre hava değişim oranı (n ₅₀) değerleri.	51
Şekil 4.3: BlowerDoor Test ölçümü sonuçları - Konut 1.	54
Şekil 4.4: Duvar malzemesine göre en düşük ve ortalama n ₅₀ değerleri.	56
Şekil 4.5: Konutlarda duvar malzemesine göre hava değişim oranı (n ₅₀) değerleri.	56
Şekil 4.6: Doğrama ve cam türüne göre en düşük ve ortalama n ₅₀ değerleri.	57
Şekil 4.7: Konutlarda doğrama malzemesine göre hava değişim oranı (n ₅₀) değerleri.	57
Şekil 4.8: Konutlarda yalıtım durumuna göre en düşük ve ortalama n ₅₀ değerleri.	58

Şekil 4.9: Konutlarda yalıtım durumuna göre hava değişim oranı (n_{50}) değerleri.....	58
Şekil 4.10: BlowerDoor ölçüm Sonucu - Konut 31.....	61
Şekil 4.11: BlowerDoor Test Sonucu – Konut 42.....	63
Şekil 4.12: Konutların inşa yıllarına göre hava değişim oranı değerleri.....	65
Şekil 4.13: Konutların yapım yıllarına göre hava değişim oranı (n_{50}) değerleri.....	65
Şekil 4.14: Konutların cephe sayılarına göre hava değişim oranı değerleri.	71
Şekil 4.15: Konutların cephe sayılarına göre hava değişim oranı (n_{50}) değerleri.	72
Şekil 4.16: Konutların bina kabuğu sızdırmazlık durumu.	73

RESİM LİSTESİ

Sayfa

Resim 2.1: Darmstadt - Kranichstein Pasif Evi kuzey cephe ve havalandırma şeması.....	11
Resim 2.2: AMVIC Ofis binası pencere sistemi.....	14
Resim 2.3: Gaziantep Yeşil Ev.....	18
Resim 2.4: Gaziantep Yeşil Ev dış duvar ısı yalıtım uygulaması [41].....	20
Resim 2.5: BlowerDoor ünitesi bileşenleri ve ölçüm sonuçlarının kayıt altına alınması...	32
Resim 4.1: 2 cepheye sahip Konut 1 Binası Görünüş ve BlowerDoor ölçümü.....	54
Resim 4.2: Konut 31 ve 42'nin bulunduğu bina.....	63
Resim 4.3: Konut 6 ve 29'un bulunduğu binalar.....	63
Resim 4.4: Konut 5 binası.....	70

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: Darmstadt-Kranichstein Pasif Evi malzeme özellikleri ve U-değerleri [25].....	13
Tablo 2.2: Termal algı PMV ölçeği [38]	15
Tablo 2.3: AMVIC Ofis Binası malzeme özellikleri ve U-değeri [39].	16
Tablo 2.4: Riedberg İlköğretim Okulu malzeme özellikleri ve U-değerleri [40].....	17
Tablo 2.5: Gaziantep Yeşil Ev malzeme özellikleri ve U-değerleri [41, 43].	20
Tablo 2.6: Ükelere göre konutlarda hava sızdırmazlık şartları [56].....	26
Tablo 2.7: Farklı konut tipleri ve standartlara göre hava değişim oranları [57].....	27
Tablo 2.8: Temiz odaların sınıflandırılması [73].....	32
Tablo 2.9: TS 825 Standardına göre hava değişim oranı (n_{50}) sınır değerleri [79].	36
Tablo 3.1: Alan çalışması için oluşturulan kriter listesi.	46
Tablo 3.2: Konutlara ilişkin özellikler ve ölçülen n_{50} değerleri.....	47
Tablo 4.1: Konutların kullanım alanlarına göre hava sızdırmazlık değerleri.	51
Tablo 4.2: Sızdırmazlık ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması.	66
Tablo 4.3: Sızdırmazlık ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması.	67
Tablo 4.4: Sızdırmazlık ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması.	68
Tablo 4.5: Sonuçlarının farklı Avrupa ülkelerinin sınır değerleri ile karşılaştırılması.	74
Tablo 4.6: Hava sızdırmazlığa etki eden parametrelerin ANOVA ile saptanması.....	74
Tablo 4.7: Konutların yapım yıllarına göre yapılan Post Hoc test sonucu.	76
Tablo 4.8: Konutların doğrama tipine göre yapılan Post Hoc test sonucu.	77
Tablo 4.9: Konutların kullanım alanı büyüklüğüne göre yapılan Post Hoc test sonucu. ...	78

SEMBOL LİSTESİ

CO₂	: Karbondioksit
W/m²K	: Isı iletkenlik katsayısı (Watt/metre kare. Kelvin)
kWh	: Kilowatt saat
kg	: Kilogram
m²	: Metrekare
Pa	: Pascal
n₅₀	: 1/h Saatteki hava değişim oranı
V₅₀	: m ³ /h Hava akımı
q₅₀	: m ³ /(m ² .h) Birim bina kabuğu yüzey alanı başına hava değişim değeri
w₅₀	: m ³ /(m ² .h) Birim bina taban alanı başına hava değişim değeri
m²	: Metrekare
m³	: Metreküp
L/s	: Kilometre cinsinden saatteki hız
V₅₀	: Hava akım miktarı
V	: Bina hacmi
A_E	: Bina kabuğu yüzey alanı
P	: Basınç farkı (İç-dış ortam)
P_E	: Dış ortamdaki hava basıncı
P_I	: İç ortamdaki hava basıncı
A	: Bina taban alanı

KISALTMALAR LİSTESİ

AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devleti
BM	: Birleşmiş Milletler
ISO	: International Standards of Organisations (Uluslararası Standartlar Organizasyonu)
BDT	: BlowerDoor Test (Fan Basınçlandırma Sistemi)
LEED	: Leadership in Energy and Environmentatl Design (Enerji ve Çevre Dostu Tasarımda Liderlik)
SHGC	: Solar Heat Gain Coefficient (Güneş Enerjisi Kazanç Katsayısı)
U-değeri	: Isı geçirgenlik katsayısı ($W/m^2.K$)
PMV	: Predicted Mean Vote (Öngörülen Ortalama Oy)
ASHRAE	: American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers (Amerikan Isıtma Soğutma ve Klima Mühendisleri Derneği)
BIM	: Building Information Modeling (Yapı Bilgi Modellemesi)
PVC	: Poli Vinil Clorür
DSÖ	: Dünya Sağlık Örgütü
TEC	: The Energy Conservatory

ÖNSÖZ

Öncelikle zorlu tez sürecimde her zaman bana yol gösteren danışman hocam sayın Prof. Dr. Türkan GÖKSAL ÖZBALTA'ya göstermiş olduğu ilgi ve desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Balıkesir İli'nde BlowerDoor Test ölçümlerini yapmak amacıyla bize kapıların açan tüm ev sakinlerine minnet duyduğumu, aksi halde alan çalışmasının gerçekleşemeyeceğini belirtmek isterim.

BlowerDoor Test cihazının kullanımı ve uygulanması konusunda destek ve yardımlarını esirgemeyen İnş. Müh. Erman ÇOĞAL'a ve konutlarda yaptığım BlowerDoor ölçümlerinin tümünde bana yardımcı olan Mimar Resul ÖZLÜK'e teşekkür ederim.

Sadece tez sürecinde değil hayatımın tüm sürecinde desteklerini hep hissettiğim, bugünlere gelmemde çok büyük emekleri olan sevgili annem Aynur ÜNLÜTÜRK'e ve sevgili babam Mustafa Ediz ÜNLÜTÜRK'e maddi ve manevi katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunuyorum.

Balıkesir, 2020

Mustafa Serhan ÜNLÜTÜRK

1. GİRİŞ

Yapı sektörü tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de enerji verimliliği ve çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli potansiyele sahiptir. Binalarda enerjinin büyük bir kısmı yapım aşamasında tüketilirken önemli bir kısmı da bina yaşam döngüsünün en uzun süreci olan kullanım aşamasında iç mekan konforunun sağlanması amacıyla tüketilir. Bina kabuğu iç ortam konfor koşullarını sağlamak için tüketilen enerji miktarını doğrudan etkilemektedir. Bina iç ortamında konfor koşullarının sağlanabilmesi için öncelikle iç ortam hava kalitesinin iyileştirilmesi ile sağlıklı bir ortam oluşturulması kaçınılmazdır. Havalandırma ile sağlanan konfor koşulları mekanik ya da kontrollü bir şekilde doğal yollarla yapılabilir. Ancak bina kabuğunda basınç farkı sonucu kontrol dışında gerçekleşen hava sızıntıları da oluşmaktadır. Bina cephesinde içe veya dışa hava sızıntısında belirleyici faktör olan bina kabuğu hava sızdırmazlığı, bina kabuğu boyunca hava akışına direnç olarak tanımlanabilir [1]. Bina kabuğunda meydana gelen hava sızıntıları bina tipolojisi, dış iklimsel veriler ve binanın çevresi ile etkileşimine bağlı olmak üzere üç temel öge ile ilişkilendirilebilir [2].

Genellikle binalardaki hava sızıntıları yapı elemanlarındaki boşluklar ve bina kabuğundaki sorunlardan kaynaklanır. Hava sızıntıları havanın, duvar ve döşeme birleşim noktaları, pencere/kapı ile duvarların birleşimi ve/ya elektrik/mekanik tesisat borularının geçtiği noktaları izleyerek bina kabuğundan geçmesiyle oluşmaktadır. Bina kabuğundaki hava sızıntıları ısı transfer hızını ve havalandırmayı etkileyerek enerji tüketimini arttırabilir. Amerika'da hafif iskelet taşıyıcı sisteme sahip evlerde bina kabuğundaki hava sızıntısının binanın ısıtma yükünü %30-40, soğutma yükünü ise %10-15 oranında arttırdığı belirtilmektedir [3]. Bina kabuğunda hava sızıntısı binanın yapısal dayanımını, ısıl/nemsel performansını, iç ortam hava kalitesini etkilediği gibi gürültü kontrolü ve yangın güvenliği açısından kullanıcı sağlığını, konforunu ve güvenliğini de etkilemektedir [4]. Teknolojik gelişmeler sonucu artan gürültü kaynakları kullanıcılar üzerinde fizyolojik ve psikolojik etkiler oluşturarak sağlık sorunlarına ve konforsuz bir iç mekan ortamı oluşmasına sebep olur. Saydam yüzeylerde cam dışındaki kasa ile duvar arasındaki boşluklardan hava kaçaklarının engellenmesi ile gürültü kontrolünün sağlanabileceği belirtilmektedir [5].

Bilindiği gibi binalarda enerji verimliliğinin sağlanması özellikle gelişmiş ülkelerin enerji programlarında yer alan önceliklerden biridir. Bu nedenle yapı sektöründe enerji etkin ve düşük enerjili bina tasarım kriterlerinin önemi ve etkisi giderek artmaktadır [6]. Enerji etkin binalarda en az enerji maliyetiyle konfor koşullarının en üst düzeyde sağlanmasında etkili olan hava kaçakları, sızdırmazlık testleri ile ölçülebilmektedir. Bu testler pek çok ülkede enerji verimliliğinin sağlanması ve enerji sertifikasyonu için bir gerekliliktir [7].

1.1 Çalışmanın Amacı

Binalarda hava sızdırmazlığı, bina enerji tüketiminin azaltılması ve iç mekan konforunun sağlanmasında belirleyici rol oynar. Yapılan çalışmalar özellikle soğuk iklim bölgelerindeki binalarda hava sızdırmazlığın enerji tüketiminde etkili olduğunu göstermektedir. Pencere ile duvar birleşim detayları, tesisat boşlukları, yapı elemanları birleşimleri gibi noktalardan meydana gelen hava kaçakları binanın ısıtma ve soğutma yüküne doğrudan etki etmektedir. Ayrıca hava kaçakları arttıkça kullanıcı sağlığını ve konforunu olumsuz etkileyen dış ortamdaki gürültü ve partiküllerin iç ortama erişimi daha kolay olabilmektedir. Hava sızdırmazlık; gözle muayene, ölçüm aletlerinin kullanılması ve simülasyon programları

aracılığı ile saptanır. Mevcut bir binanın bina kabuğu hava sızdırmazlık düzeyi çoğunlukla fan basınçlandırma yöntemi olan “BlowerDoor Test” yöntemi ile ölçülür.

Tez çalışmasının amacı, yapım yılı, kullanım alanı büyüklüğü, doğrama tipi, duvar malzemesi, cephe sayısı ve ısı yalıtım durumu parametrelerinin bina kabuğu hava sızdırmazlık performansı üzerindeki etkisini araştırmak ve sızdırmazlık sonuçlarını farklı ülkelerin standartlar değerleri ile karşılaştırarak irdelemektir. Alan çalışması için Balıkesir İli kent merkezinde ve kırsal alanda yer alan 44 konut belirlenmiş ve sızdırmazlık düzeyleri BlowerDoor Test cihazı ile ölçülmüştür. Elde edilen ölçüm sonuçları TS 825 ve farklı Avrupa ülkelerinde uygulanan TNI 730330 ve Pasif Ev Standart değerleri ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca alan çalışmasında seçilen mevcut binalardaki yapım yılı, kullanım alanı büyüklüğü, doğrama tipi, duvar malzemesi, cephe sayısı ve ısı yalıtım uygulaması gibi farklı ölçütlerin hava sızdırmazlık üzerindeki etkilerin farklılaşması varyans yöntemi (ANOVA) ile belirlenmiş olup ANOVA ile değerlendirmenin mümkün olmadığı durumlarda Post Hoc tekniği kullanılmıştır.

Böylece bina kabuğunda sızdırmazlık üzerinde etkili olan çeşitli parametrelere dikkat çekilerek gerek mevcut binalarda iyileştirme gerekse tasarım aşamasındaki binalarda enerji verimliliğinin artırılmasına katkı sağlanabileceği düşünülmektedir.

1.2 Çalışmanın Kapsamı

Enerji tüketiminde önemli bir paya sahip olan binalarda önemli parametrelerden biri olan bina kabuğu hava sızdırmazlığı ölçümleri için alan çalışması olarak Balıkesir İli kent merkezi ve kırsalında yer alan konutlar seçilmiştir.

Çalışma kapsamında, öncelikli olarak hava sızdırmazlık ölçümleri için 85 konut belirlenmiş ve kullanıcıları ile görüşülmüştür; ancak sadece 44 konut kullanıcısından ölçümler için olumlu yanıt alınmıştır. Balıkesir İli kent merkezinde 38 konut, kırsalda ise 6 konut olmak üzere toplam 44 adet konutun bina kabuğu hava sızdırmazlığı, hava sıcaklıklarının düşük olduğu Kasım 2019-Şubat 2020 tarihleri arasında fan basınçlandırma yöntemi olan Minneapolis BlowerDoor Test ile ölçülmüştür. Hava sızdırmazlıkla ilişkilendirilen temel öğelerden duvar malzemesi, binanın konumu ve yaşı, cephe sayısı, yalıtım durumu, kullanım alanı büyüklüğü ve doğrama türü çalışma kapsamında ele alınan parametrelerdir. Örneklerin kent merkezi ve kırsaldan seçilmesinin amacı yapılaşma yoğunluğuna bağlı olarak rüzgar etkisinin de gözlenmesidir.

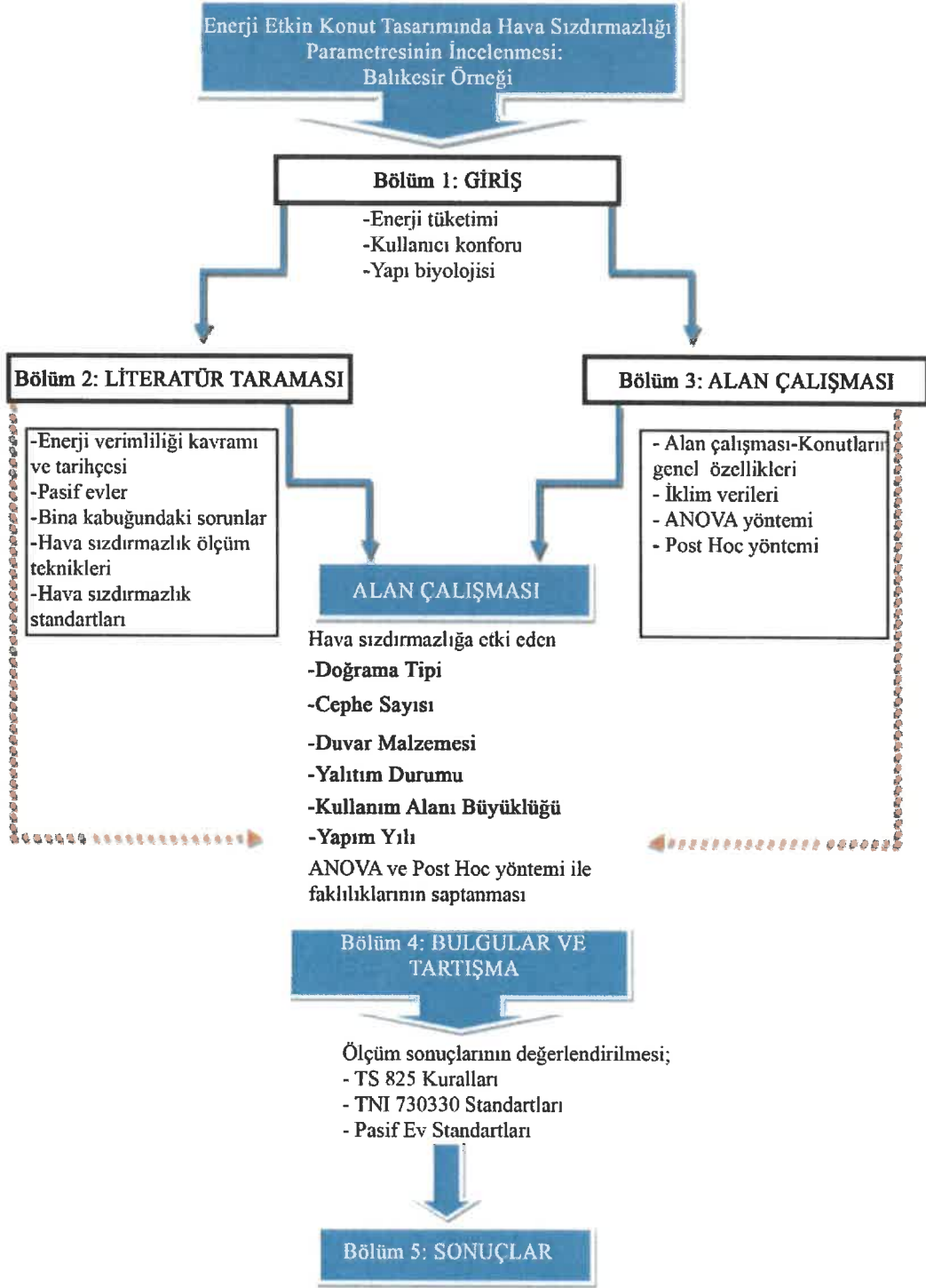
Elde edilen bina kabuğu sızdırmazlık sonuçları (n_{50} , q_{50} , w_{50}) TS 825 ve farklı Avrupa ülkelerinin TNI 730330 ve Pasif Ev Standartları değerleriyle karşılaştırılmıştır. Böylece mevcut binalarda yapılan durum tespitinin yanı sıra ANOVA varyans analizi ve Post Hoc yöntemleri ile ele alınan tasarım parametrelerinin etkileri değerlendirilmiştir.

1.3 Çalışmanın Yöntemi

Çalışmanın yöntemi Şekil 1.1’de özetlenmiştir. Tez çalışmasında, amaç doğrultusunda konu hakkında alanyazın taraması yapılarak, konuyla ilgili daha önce yapılmış çalışmalar incelenmiştir. Alanyazın taramasında konuya ilişkin kaynaklardaki bilgiler kısmen yorumlanıp karşılaştırılarak aktarılmıştır. Teorik bilgilerin uygulamadaki karşılıkları alan çalışmasında gerçek ortamda gözlenmiştir. Alan çalışması öncesinde incelenecek binaların özelliklerini ve hava sızıntısı sorunlarını belirleyebilmek için ISO 19208 [8] ve ISO 15686 [9] standartlarından yararlanılarak bir bina inceleme formu geliştirilmiştir. Bu inceleme

formunda binanın yapım yılı, cephe sayısı, konumu, duvar malzemesi, pencere/kapı doğrama tipi, yalıtım durumu gibi özellikleri yer almaktadır.

Alan çalışmasında BlowerDoor Testi ile konutların hava sızdırmazlık değerleri tespit edilmiş ve sonuçlar TS 825 standardı, çeşitli Avrupa ülkelerinde uygulanan TNI 730330 ve ve Pasif Ev Standardları ile karşılaştırılarak durum tespiti yapılmıştır. Ayrıca hava sızdırmazlığında etkili olan bina yapım yılı, kullanım alanı büyüklüğü, duvar malzemesi, cephe sayısı, doğrama malzemesi ve yalıtım durumu gibi parametrelerin hava sızdırmazlık üzerindeki etkileri örnekler üzerinden incelenmiş olup varyans analizi (ANOVA) ve Post Hoc yöntemleri ile bu parametrelerin etki sıralaması saptanmıştır.

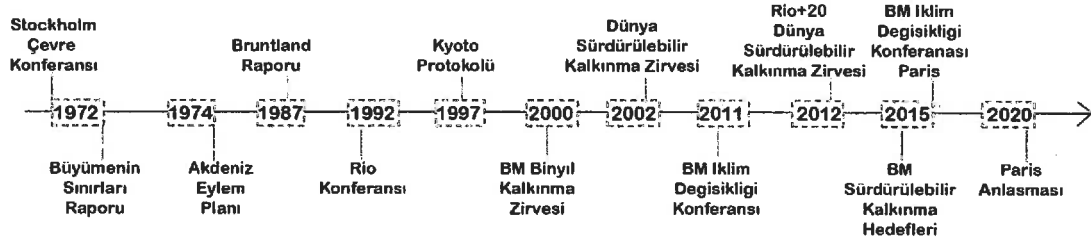


Şekil 1.1: Tezin akış şeması.

2. ALANYAZIN TARAMASI

2.1 Enerji Verimliliği Kavramı ve Tarihçesi

İş yapabilme yeteneği olarak tanımlanan enerji evrensel bir kavram olup yaşamın vazgeçilmez gereklerinden biridir. Ancak enerji tüketimi sonucunda doğal kaynaklar hızla tükenmektedir. Ekosistem dengesinin bozulmasına neden olan bu durum çevrenin korunması, enerjinin etkin kullanılması, israfın önlenmesi gibi enerji kullanımına yönelik yeni yaklaşımları beraberinde getirmiştir. Enerji verimliliği, enerji kaynaklarının üretimden tüketim aşamasına kadar tüm aşamalarda en yüksek etkinlikte değerlendirilmesini ifade eder. Bunun sonucu olarak yeşil binalar, sürdürülebilir çevre ve kaynak kullanımı gibi terimler Avrupa Birliği'nin Ortak Geleceğimiz raporuyla hem uygulama hem de yasal düzenlemelerde karşımıza çıkmaktadır [10]. Yaşanan enerji krizleri ve sera gazı salımının yarattığı iklim değişikliği gerçeği ile birleşince başta ABD ve Avrupa olmak üzere küresel ölçekte enerji verimliliği konusu önemi nedeni ile yasal düzenlemelerde yer almıştır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1: Kalkınma ve Çevrenin Etkileşim süreci [11].

Bu bağlamda 1987 yılında 20 ayrı ülkenin katılımıyla hazırlanarak Birleşmiş Milletler Genel Kurulu'na sunulan Brundtland (Ortak Geleceğimiz) Raporu'nda çevresel gelişme ile ekonomik kalkınma arasındaki yaşamsal köprü'nün kurulması ve sürdürülebilir bir çözümle giderek ağırlaşan çevresel sorunların aşılabileceğine dikkat çekilmiştir.

1992 yılında ulusların çevreye duyarlı yönetim şekillerini benimsemeleri sonucu Rio de Janeiro'daki BM Çevre ve Kalkınma Konferansı önemli bir etken olmuştur [12].

Küresel ölçekte sera gazı emisyonlarının artmasına bağlı olarak yaşanan iklim değişikliğinin giderek hissedilir olması üzerine 1997 yılında Kyoto Protokolü kabul edilmiş ve bu protokol 2005 yılında yürürlüğe girmiştir. Ülkemiz bu protokole 2009 yılında taraf olmuştur.

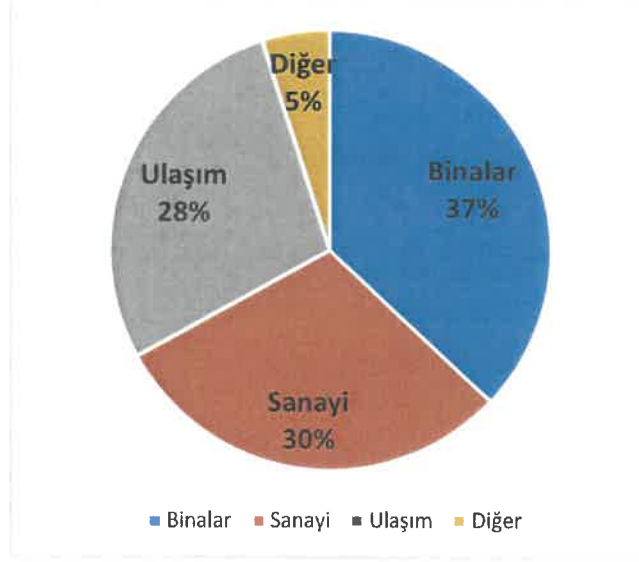
2002 yılında Avrupa Birliği (AB) Bina Enerji Performansı Direktifini (2002/31/EC) yayınlamaya enerji verimliliği konusunda önemli bir adım atmıştır. Bina Enerji Performansı Direktifi Avrupa'da hem mevcut hem de yeni yapılacak binalarda enerji performansı değerlendirmesine ilişkin belirli standartlar ve ortak bir yöntem getirmenin yanı sıra, düzenli bir denetim ve değerlendirme mekanizması kurarak, binalarda enerjinin daha verimli kullanılmasını sağlamayı amaçlamıştır. Bina enerji sınıfı sertifikalandırması enerji tüketim oranının belirlenmesinde en önemli yöntemdir. Bu uygulamanın tüm üye ülkelerde zorunluluk olması hedefi konmuştur. 2010 yılında revize edilen "Binalarda Enerji Performansı Direktifi (2010/31/EU)" üye ülkelere minimum enerji gereksinimi konusunda

hedefler getirmiştir. Bu hedeflere göre öncelikli olarak kullanım amaçlarına göre binaların farklı yaşam süreçlerini dikkate alarak optimum maliyete dayalı yönetmeliklerin hazırlanması ve geliştirme yöntemlerinin tanımlanması gerekmektedir. Avrupa Birliği enerji hedeflerine göre tüm kamu binalarının 2018-2019 yılı, diğer tüm binaların ise 2020-2021 yılına dek yaklaşık sıfır enerjili binalar olması belirlenmiştir. Ayrıca yapıların ısıtma ve iklimlendirme sistemleri için de ayrı bir denetim sistemi oluşturmak üye ülkelerin sorumluluğunda tutulmuştur [13]. Bina Enerji Performansı Direktifinin amacı dış iklim şartları, kullanıcı gereksinimleri ve maliyet etkinliğini de dikkate alarak bir binanın bütün enerji kullanım değerlerini, CO₂ salımını düzenlemektir [14].

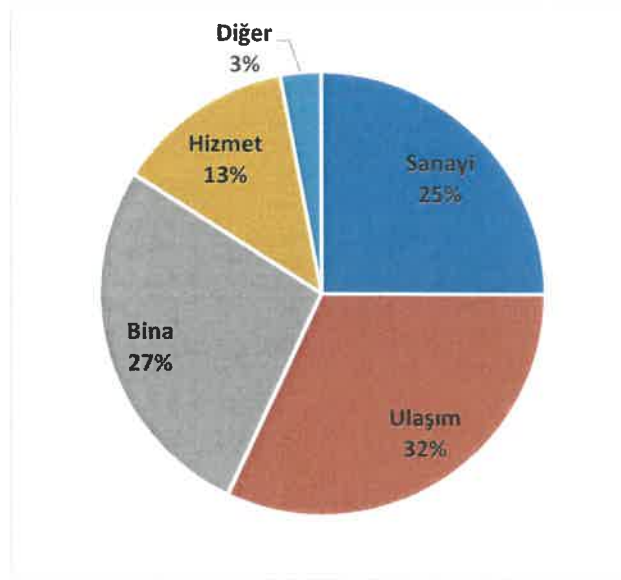
Binalarda Enerji Performansı Direktifi (2010/31/EU) baz alınarak Türkiye’de Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği ile binaların birincil enerji ve karbondioksit (CO₂) emisyonu açısından sera gazı salımının sınırlandırılması hedeflenerek Enerji Kimlik Belgesi alınması 1 Ocak 2011 tarihi ile zorunlu kılınmıştır [15].

2012 yılında Rio de Janeiro’daki BM Sürdürülebilir Kalkınma Konferansı olan Rio+20 düzenlenmiştir. Bu zirve sonucunda kalkınma için bir kılavuz niteliğindeki “İstedığımız Gelecek” isimli sonuç belgesi kabul edilmiştir. 2015 yılında ise Binyıl Kalkınma Hedeflerinin devamı niteliğindeki “Gündem 2030: BM Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri” kabul edilmiştir [12].

Şekil 2.2’de Türkiye’de enerjinin sektörlere göre dağılımında konutların payı %37 olarak görülürken Şekil 2.3’te AB’de bu oranın 2011 yılında %27 olduğu görülmektedir [16, 17]. Dünya genelinde de binaların enerji tüketiminde büyük bir paya sahip olması enerji etkin binalara yönelik önlemler alınmasını ve düşük enerjili binalar kavramlarını gündeme getirmiştir. Enerji verimli bina kavramı pasif tasarım parametreleri ile birlikte teknolojik gelişmeler ve yeni malzemelerin kullanımıyla enerji etkin binaların ortaya çıkmasını sağlamıştır. Şekil 2.4’ de yüz yıllık bir süreçte binaların enerji tüketimindeki değişim yer almaktadır [18].

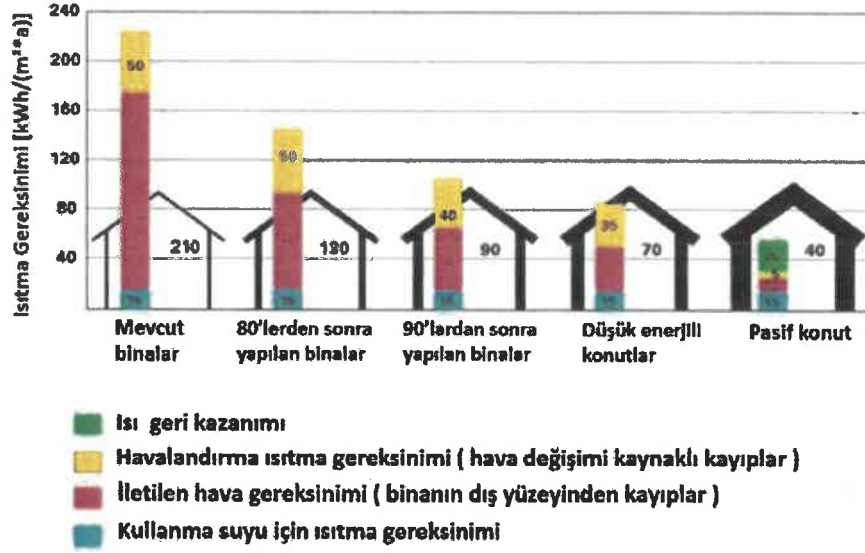


Şekil 2.2: Türkiye'nin toplam nihai enerji tüketimi dağılımı, 2015 [16].



Şekil 2.3: AB'nin toplam nihai enerji tüketimi dağılımı, 2011 [17].

Binaların Enerji Tüketimi: 1918 - 2018



Şekil 2.4: Binalarda enerji tüketiminin yıllara göre değişimi [18].

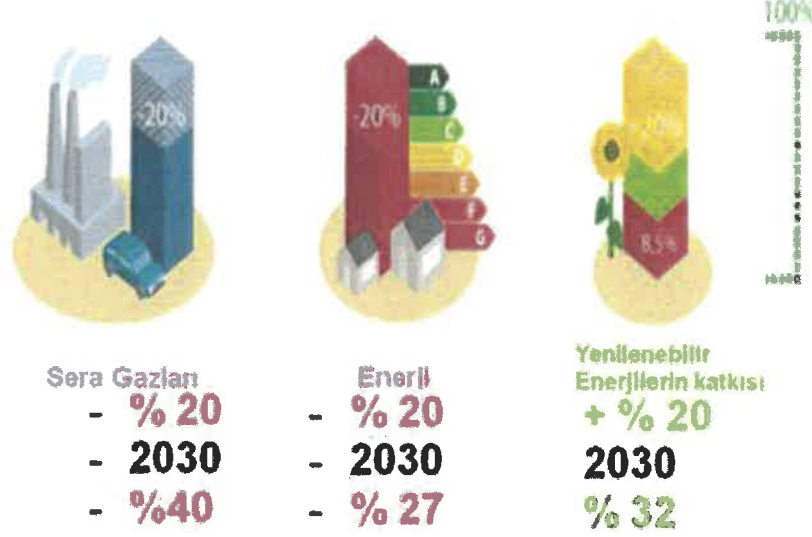
Dünya Doğayı Koruma Vakfına göre 2015 yılı kaydedilen en sıcak yıl olarak tarihe geçmiştir. Küresel sıcaklık artışının uzlaşılabilir Paris Anlaşmasına göre hedefi yüzyıl sonunda tahminlenen 2,7°C ile 3,7°C sıcaklık artışının 1,5°C'de kalmasının sağlanmasıdır [19, 20].

Avrupa Birliği enerji ile ilgili hedeflerini sistematik bir şekilde izlemek amacıyla 2020, 2030 ve 2050 yılları için hedefler belirlemiştir. 2020 Enerji Stratejisi Avrupa Birliği'nin 2010 ile 2020 yılları arasındaki 20-20-20 hedefleri olarak bilinen; 1990 yılı değerleri baz alınarak sera gazlarının en az %20 oranında azaltılması, yenilenebilir enerjinin tüketim içerisindeki payının en az %20'ye çıkartılması ve enerji verimliliğini en az %20 oranında artırılması öncüllerini içermiştir (Şekil 2.5). AB üye ülkeleri 2030 yılı için ise 1990 yılı seviyelerine kıyasla hedefini;

- Sera gazı emisyonlarını %40 oranında azaltmak,
- Tüketilen enerjinin %32'sini yenilenebilir kaynaklardan elde etmek,
- Enerji verimliliğini en az %27 oranında arttırmak şeklinde belirlemiştir [21].

Avrupa Komisyonu AB'nin 2050 yılı net sıfır emisyon hedeflerini yasallaştıracak iklim yasasını 2020 yılı içerisinde onaylamıştır. AB sera gazlarında 1990 yılına kıyasla %80 ile %90 arasında bir azalma hedeflemektedir. Kısa vadede ise 12 AB ülkesi 2020 yılının Haziran ayının sonuna kadar emisyon değerlerinin yüzde 50 ile 55 oranında azaltılmasını hedef olarak belirtmiştir [20]. Avrupa Komisyonuna göre bu yasa AB'yi 2050 yılında dünyanın ilk iklim nötr anararası yapma amacındadır [22].

Avrupa Birliği Enerji Politikası - 2020 Yılı / HEDEF 20-20-20



Şekil 2.5: Avrupa Birliği'nin 2020-2030 yılı hedefleri.

2.2 Pasif Evler

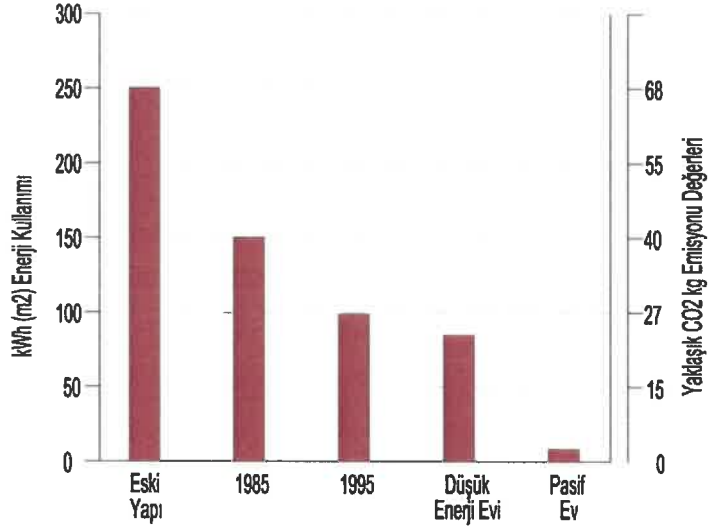
2.2.1 Pasif Evin Tanımı ve Tarihçesi

"Pasif ev yapıları gerekli olan oda sıcaklığına ulaşabilmek için, temiz havayı ısıtarak ya da soğutarak gerekli termal rahatlığı sağlayabilen yapılardır." [23]. Pasif Ev Enstitüsüne göre "her yerde uygulanabilen, güvenilebilir, gerçek bir inşaat konsepti, enerjik açıdan verimli, konforlu ve uygun fiyatlı bir yapı standardıdır." [24]. Düşük enerjili evlerin geliştirilmesiyle ortaya çıkan pasif evler enerji verimliliği yüksek, konforlu, ekonomik ve aynı zamanda bu özellikleri çevreye en az zararı olacak şekilde karşılayan yapı tasarlama kriterlerini kapsayan bir yapı standardıdır [25].

1980'li yılların ortalarında Danimarka ve İsveç'te yeni yapılacak binalarda "düşük enerjili binalar" standardı yasal olarak belirlenmiştir. Bina enerji tüketimini azaltmak için;

- en yüksek düzeyde ısı yalıtımı uygulaması,
- ısı köprülerinin engellenmesi,
- ısı yalıtım değeri yüksek U-değeri düşük doğramaların seçimi ($U\text{-değeri} < 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$),
- atık ısı geri kazanımlı havalandırma sistemi

gibi farklı yöntemler kullanılmıştır. 1988 yılında ortaya atılan pasif ev kavramına örnek ilk uygulama Almanya'nın Darmstadt kentinde 1991 yılında inşa edilmiştir. İzleyen yıllarda kurulan Pasif Ev Enstitüsü (1996, Darmstadt) bilimsel araştırmalarını ve pasif ev eğitimlerini sürdürmekte olup uygulamalar konusunda öncü rol oynamaktadır. Dünya genelinde sürekli yaygınlaşmakta olan pasif evlerin sayısı 25000'i aşmıştır [25].



Şekil 2.6: Binalarda enerji tüketimi ve CO₂ emisyon değerleri değişimi [18].

Pasif ev ısıtma amaçlı olarak yılda 10 kWh/m²'den az enerji tüketmekte olup geleneksel bir binaya göre %80-90 oranında tasarruf sağlamaktadır (Şekil 2.6) [21]. Pasif evlerde iç ısı kazancı ve güneş enerjisinden elde edilen pasif kazancın kullanımıyla en az enerjiye gereksinim duyularak konfor koşulları sağlanır. Pasif yapılar kullanıcılarına enerji tasarrufunun yanı sıra "çoklu konfor" ortamı sunar. Çoklu konfor kavramı yapının içindeki gürültü seviyesini azalttığı gibi kullanılan yapı ve yalıtım malzemelerinin kalitesini artırır. Ayrıca yangın güvenliğini azami seviyede çözümlenerek ve kaliteli iç ortam havası oluşturarak, farklı parametrelerin iyileştirilmesini içermektedir [26].

Pasif evler, yeterli iç ortam hava kalitesine ulaşmak için gerekli ısı konforun ek hava sirkülasyonuna gereksinim duyulmadan temiz havanın önceden ısıtılması veya soğutulmasıyla elde edildiği yapılar olarak tanımlanmaktadır. Pasif evin bu tanımı hiçbir sayısal değer içermeyen işlevsel bir tanım olup tüm iklim verileri için geçerli olması bu standardın temel bir kavram olduğunun göstergesidir [27].

Pasif evlerde istenilen iç sıcaklığa ulaşmada bina kabuğu elemanlarına (dış duvarlar, çatı ve zemin) iyi düzeyde ısı yalıtımı yapılır ve ısı geçirgenliği düşük pencereler kullanılır. Pasif evlerde bu ve benzeri yöntemlerle ısı ve enerji kayıpları en aza indirgenirken benzer şekilde gölgeleme ve pencere yönlendirmesiyle aşırı ısı kazancı önlenerek soğutma yükleri azaltılmaktadır. İç ortamda istenmeyen hava akımlarını önlemek amacıyla ısı geri kazanımlı havalandırma üniteleri kullanılır ve sürekli temiz hava sağlanır. Dışarıya atılan atık havada bulunan ısı, verimli ısı geri kazanım ünitesi ile dışarıdan alınan taze havaya aktarılarak yeniden kullanılır. Pasif evlerde kullanılan bu sistemler alan ısıtma maliyetinde Almanya'daki geleneksel evlere nazaran %90'a varan tasarruf sağlarken oldukça yüksek iç mekan hava kalitesi elde edildiğini de ortaya koymaktadır [28, 29].

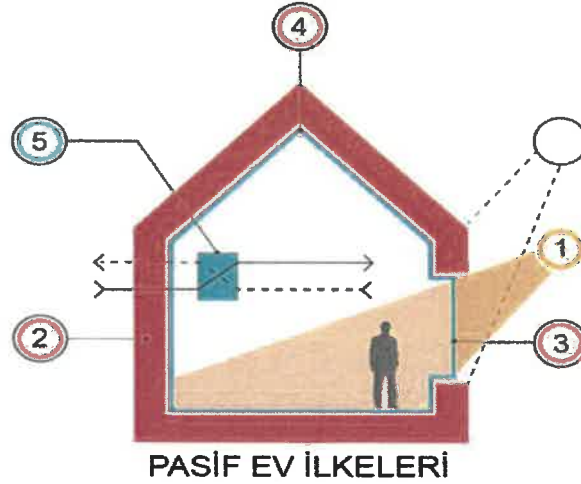
Pasif ev standardında kullanıcı konforunu en az maliyetle artırma hedefi ön planda olup enerji tasarrufu ve sera gazlarının azaltılması konusunda pasif evlerin önemi büyüktür. Yalıtılmamış bir binanın yıllık metre kare başına yaydığı CO₂ miktarı 68 kilogramdır. TS

825 yönetmeliğine uygun yapılmış düşük enerji kullanan bir binada CO₂ emisyonu 25-27 kg/m².yıl düzeyindedir. Pasif evlerde ise yalıtımsız binalara göre yaklaşık 17 kat daha az olup CO₂ salımı 4 kg/m².yıl'dır. Yalıtılmamış binalarda ısıtma enerjisi miktarı 250 kWh/m².yıl civarında iken yönetmeliğe uygun yapılmış bir binanın ısıtma enerjisi gereksinimi 70-80 kWh/m².yıl'dır. Ancak pasif ev ısıtma enerjisi sınır değeri 15 kWh/m².yıl olarak belirlenmiştir. Bu veriler ışığında bir pasif evin yaklaşık %80 oranında daha az ısıtma enerjisi tüketmekte olduğu ve 6-7 kat daha az CO₂ emisyonu yaydığı görülmektedir [29].

2.2.2 Pasif Ev Tasarım Kriterleri

Pasif ev tasarımının 5 temel kriteri vardır (Şekil 2.7). Bunlar;

1. Opak kabukta yüksek ısı yalıtımı uygulanması,
2. Isı köprüleri engellenmiş tasarım,
3. Hava sızdırmaz yapı,
4. Isı yalıtım direnci yüksek pencereler,
5. Yüksek verimlilik özelliğine sahip ısı geri kazanımlı havalandırma sistemidir [30].



Şekil 2.7: Pasif ev standardı 5 ana ilkesinin şematik gösterimi [31].

Opak kabukta yüksek ısı yalıtımı, bina dış kabuğunu oluşturan tüm opak yapı bileşenleri çok iyi yalıtılmış olması ve bu opak yapı bileşenlerine uygulanacak olan yalıtım sonucunda U-değeri'nin 0,15 W/m²K'i geçmemesi önemlidir [32].

Isı köprüleri engellenmiş tasarım, tüm birleşimler, köşeler ve açıklıklarda olası ısı köprülerinin engellenebilmesi için özenle planlanması ve kaçınılması imkansız ısı köprülerinin olabildiğince en aza indirgenmesi gerekir [31].

Hava sızdırmaz yapı, 50 Paskal basınçta saatte 0,6 hava değişimi değerini geçmemelidir. Bunu sağlamak için, Pasif Ev binaları kesintisiz ve süreklilik arz eden hava geçirmez bir katman ile tasarlanmalıdır [32].

Isı yalıtım direnci yüksek pencereler, pencerelerde ısı geçişini azaltmak için yalıtımlı doğrama ve argon/kripton gaz dolgulu camlar kullanılmalıdır. Pencerelerde maksimum toplam ısı geçiş katsayısı 0,8 W/m²K veya daha az olmalıdır.

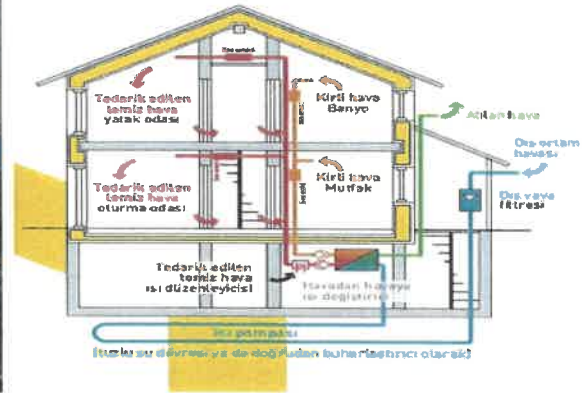
Yüksek verimlilik özelliğine sahip ısı geri kazanımlı havalandırma sistemi, yüksek verimli ısı geri kazanımlı mekanik havalandırma cihazı iyi bir iç hava kalitesi ve enerji tasarrufu için kritik öneme sahiptir. Pasif evlerde, kullanılan hava ısısının en az %75'i atık ısı geri kazanım cihazı ile temiz havaya aktarılır.

2.2.3 Pasif Bina Uygulama Örnekleri

Pasif ev konsepti ortaya çıktığı günden bu yana konut başta olmak üzere pek çok işlevdeki yapıda uygulanmıştır. Bu bölümde farklı işleve sahip 4 pasif bina örneği ele alınarak incelenmiştir. Bina örnekleri konut, ilkökul, ofis binası ve kamu binasından oluşmaktadır. Ayrıca ele alınan örnekler farklı ülkelerde yapılan ilk pasif bina örnekleridir.

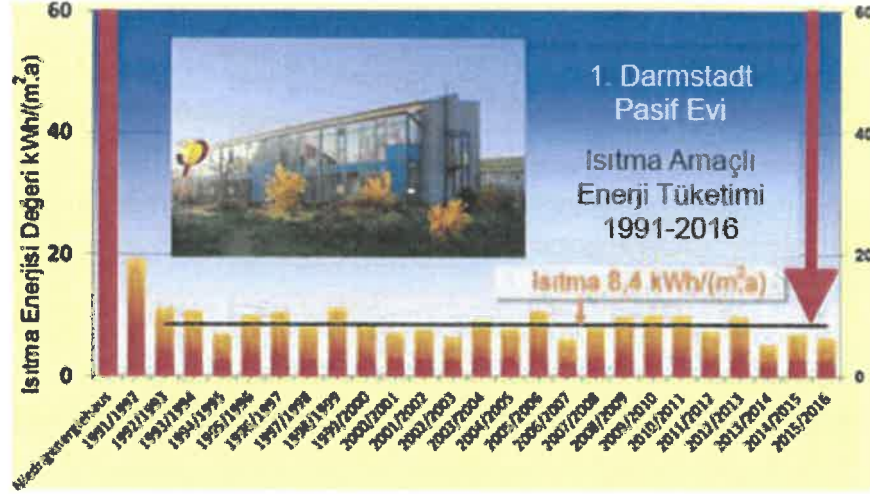
Darmstadt - Kranichstein Pasif Evi, Darmstadt-Almanya, 1990-1991;

Pasif ev temel ilkeleriyle 1991 yılında inşa edilen ilk bina örneği olan Kranichstein evi Resim 2.1'de görülmektedir. Doğu-Batı aksında düzenlenen sıra evlerin ana cepheleri kuzey ve güneye yöneliktir. Amaç güney cephede yer alan saydam yüzeyler aracılığı ile güneşten pasif kazanç sağlamaktır. Ayrıca kuzey cephede düzenlenen kış bahçesi ise hem ısı kayıplarını azaltmak amacıyla tampon bölge oluşturmakta hem de farklı işlevlere hizmet etmektedir.



Resim 2.1: Darmstadt - Kranichstein Pasif Evi kuzey cephe ve havalandırma şeması [18, 32].

Kompakt bir forma sahip olan Darmstadt pasif evinin ısıtma amaçlı enerji tüketim değeri 1991-2016 yılları arasında yapılan ölçümlere (Şekil 2.8) göre ortalama 8,4 kWh/m².yıl olup geleneksel eve kıyasla ısıtma enerjisinden yaklaşık %94 oranında tasarruf edildiğini ortaya koymuştur. Ayrıca bina kabuğu sızdırmazlık değerinin de 25 yıl bina yaşına karşın pasif ev için gerekli düzeyi sağladığı tespit edilmiştir [33]. Bina kabuğu kuruluşuna ilişkin malzeme ve özellikleri Tablo 2.1'de yer almaktadır.



Şekil 2.8: Darmstadt pasif evi - Isıtma enerjisi tüketimi (1991-2016) [33].

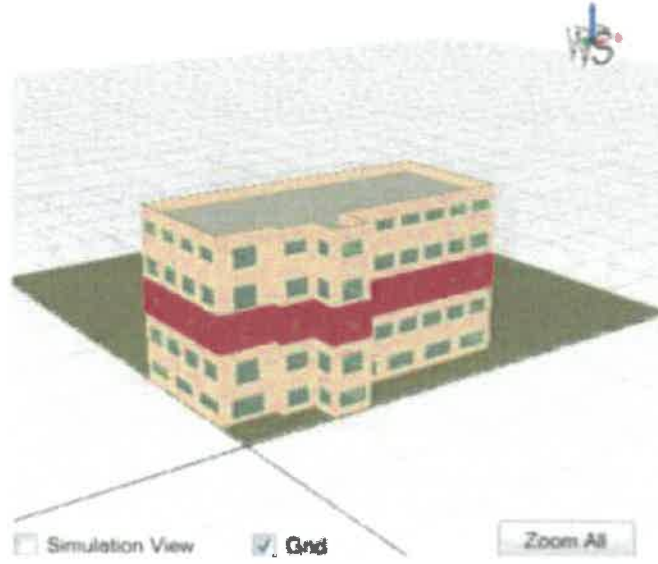
Tablo 2.1: Darmstadt-Kranichstein Pasif Evi malzeme özellikleri ve U-değerleri [25].

Yapı elemanları	Kuruluş-Malzeme Özellikleri	U-değeri [W/m²K]
ÇATI	Çim Çatı: <ul style="list-style-type: none"> • Toprak+ Koruyucu membran • 50 mm formaldehit içermeyen yonga levha • Ahşap I-kiriş • Hermetik polietilen hava sızdırmaz bariyer • 12,5 mm Alçıpan • 445 mm mineral yün ile doldurulmuş bloklar 	0,1
DIŞ DUVARLAR	Güçlendirilmiş dış sıva <ul style="list-style-type: none"> • 275 mm polistiren yalıtım (EPS) (iki katman, 150 +125 mm) • 175 mm kum-kireç taşı duvar; • 15 mm emülsiyon boya ile boyanmış bloklar 	0,14
BODRUM TAVANLARI	Fiberglas ile güçlendirilmiş sıva: <ul style="list-style-type: none"> • 250 mm polistiren yalıtım • 16 mm sıva • 40 mm polistiren ses yalıtımı • 40 mm şap zemin kaplama • 50 mm parke+ yapıştırıcı • 8-15 mm solvent içermeyen sızdırmazlık bariyeri 	0,13
PENCERELER	Ahşap Doğrama: <ul style="list-style-type: none"> • Kripton dolgulu üçlü cam • Poliüretan köpük ile yalıtılmış doğrama 	0,7

Görüldüğü üzere yapı elemanlarının ısı geçirgenlik katsayıları olabildiğince azaltılmış olup çim çatı U - değeri 0,1 W/m²K, güçlendirilmiş ısı yalıtım uygulaması ile bina duvar U - değerleri; dış duvar 0,14 W/m²K, bodrum kat duvar 0,13, 0,14 W/m²K'dir [25]. Ayrıca binanın temel özelliklerinden biri atık ısıdan geri kazanımdır. İç mekanlardaki atık ısı dışarıdan alınan taze havaya eşanjör aracılığı ile aktarılmaktadır. Bunun dışında havalandırma için taze havanın toprak içinden geçirilerek ön ısıtmaya/soğutmaya tabi tutulması ile atık ısı geri kazanım sisteminin desteklenmesidir; böylece özellikle ısıtma enerjisi tüketiminden tasarruf sağlanmaktadır.

Ofis Binası-AMVIC, Bükreş-Romanya, 2009-2011;

Avrupa Birliği Direktifi enerji tüketimini 2020 yılına kadar %20 oranında azalmak amacıyla Avrupa Birliği'nde inşa edilen tüm yeni binaların neredeyse sıfır enerji seviyesine ulaşmasını öngörmektedir [34]. Bu hedef düşük enerjili bina türü olan pasif ev konseptini gündeme getirmiş olup AMVIC ofis binası ılıman iklime sahip Romanya'da inşa edilen pasif ev konseptindeki ofis binasıdır [35]. Ilıman iklimlerde bir binanın pasif ev olarak sertifikalandırılabilmesi için ısıtma amaçlı kullanılan enerjinin $15 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{yıl}$ 'dan az olması, hava değişim oranı (n_{50}) $0,6 \text{ l/h}$ 'i geçmemesi ve binanın birincil enerji talebinin $120 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{yıl}$ değerini aşmaması gereklidir [35]. AMVIC ofis binasının dış duvarları U-değeri $0,093 \text{ W/m}^2\text{K}$, pencerelerin U-değeri $0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ ve güneş ısısı kazanç kat sayısı (SHGC) (g-değeri) $0,33$ olup yapı elemanlarına ilişkin ayrıntılı bilgiler Tablo 2.2'de yer almaktadır [35].



Şekil 2.9: AMVIC Ofis Binasının Enerji Simülasyon Modeli [36].

Ofis binasında güneş enerjisinden pasif ve aktif kazanç sağlanmaktadır. Binadaki pencere sistemi ile güneş enerjisinden pasif kazanç elde edilirken bina çatısında yer alan güneş toplaçları ile aktif kazanç elde edilir [37]. Şekil 2.9'de görüldüğü üzere tasarım aşamasında bina simülasyon araçları ile yapılan modellemelerle enerji kayıp ve kazançları hesaplanarak tasarımda karar verme süreci desteklenerek enerji tüketimi optimize edilmektedir. AMVIC ofis binasındaki panjur çitalarının açılma açısının 5 dereceden 60 dereceye çıkması durumunda zemin kattaki iç mekan sıcaklığının $1,13 \text{ }^\circ\text{C}$ arttığı bildirilmektedir (Resim 2.2).



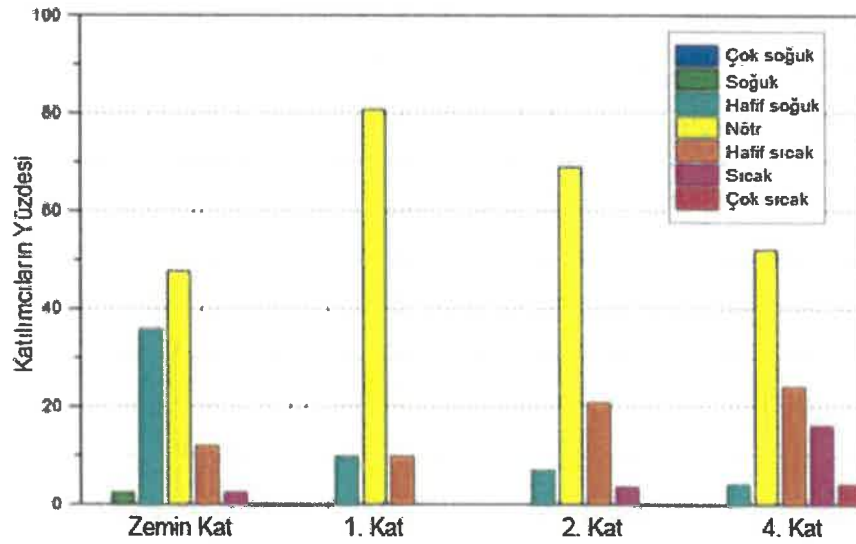
Resim 2.2: AMVIC Ofis binası pencere sistemi [36].

Her ne kadar sıcaklık niceliksel olarak ifade edilse de kullanıcı konforunda etkili olan ısı duyumu niteliksel olarak değerlendirilmektedir. Fizyolojik bir değerlendirme olan ısı konforunun sayısallaştırılması için PMV (Predicted Mean Vote) endeksi olan ortalama ısı duyumu kavramındaki 7 derecesi bulunan ASHRAE skalası kullanılmaktadır. (Tablo 2.2)

Tablo 2.2: Termal algı PMV ölçeği [38]

-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
Çok Soğuk	Soğuk	Hafif Soğuk	Nötr	Hafif Sıcak	Sıcak	Çok Sıcak

2013 yılında AMVIC ofis binası kullanıcılarına konfor testi uygulanarak konfor parametreleri ölçülmüş ve her kat için kullanıcıların memnuniyetlerini gösteren değerler Şekil 2.10'da verilmiştir. Anket sonuçları kullanıcı memnuniyetinin yüksek düzeyde olduğunu göstermektedir [35].



Şekil 2.10: AMVIC Ofis binasında yapılan kullanıcı konforu anket sonuçları [35].

Tablo 2.3: AMVIC Ofis Binası malzeme özellikleri ve U-değeri [39].

Yapı Elemanları	Kuruluş-Malzeme Özellikleri	U-değeri [W/m ² K]
ÇATI	<ul style="list-style-type: none">• 15 mm X 2 alçıpan levha• 50 mm polistren köpük yalıtım• 720 mm hava boşluğu• 2 X 10 mm OSB levha• 200 mm buhar kesici katman• 10 mm OSB levha• 0.1 mm hava sızdırmaz folyo• 1 mm metal kaplama levha	0,12
DIŞ DUVARLAR	<ul style="list-style-type: none">• 5 mm yıkanabilir boya• 12 mm alçıpan levha• 50 mm thermofloc buhar tutucu• 63 mm neopor (ısı yalıtımı-taş yünü)• 203 mm betonarme• 63 mm neopor (taş yünü)• 30 mm polistren köpük• 5 mm yıkanabilir boya	0,093
BODRUM TAVANLARI	<ul style="list-style-type: none">• 8 mm taş levha• 30 mm harç + katkı• 50 mm polistren• 400 mm betonarme döşeme• 0,1 mm sızdırmaz folyo	0,13
PENCERELER	<ul style="list-style-type: none">• Pencereleması emiciliğı düşük üçlü cam• Düşük ısı geçirgenlik katsayısı (U-değeri)• Yüksek güneş ısı kazanç katsayısı (SHGC)	0,5

Riedberg İlköğretim Okulu, Frankfurt-Almanya, 2003-2004;

Pasif ev konsepti konut binaları dışında idari, ticari, fabrika, okul binaları, kongre merkezleri gibi farklı işleve sahip binalara da uygulanmaktadır. Kent konseyinin aldığı kararlar gereği tüm okul ve anaokul binalarının pasif ev tasarım kriterlerine uygun olması zorunluluğuna istinaden Frankfurt'ta inşa edilen (2002) bir uygulamadır. Riedberg okulunun çevresel şartlara bağlı olarak ana cephesi güney doğuya yönelik olup eğimli bir arazide konumlanmaktadır (Şekil 2.11) [40]. Bina elemanlarına ilişkin malzeme özellikleri ve kuruluşları Tablo 2.4'de yer almaktadır.

Şekil 2.12'de görüldüğü üzere Riedberg İlköğretim Okulu'nda iç mekanda hava kalitesini yüksek düzeyde tutabilmek adına havalandırma amaçlı temiz hava girişleri için kanal ve menfezler düzenlenmiş olup aydınlatma için de enerji tüketimini azaltmak adına enerji tasarruflu LED aydınlatmalar kullanılmıştır.

Pasif ev standardındaki ilköğretim binasında ısıtma döneminde ısı geri kazanımı sistemi ile %84,2 oranında kazanç sağlanırken, binanın soğuk havalandırma kanallarının uzunluğundan dolayı yaz aylarında bu oranın %74 düzeyinde kaldığı bildirilmektedir [37]. Binada yüksek verimli ısı geri kazanım sistemi ile enerji tüketimi azaltılmakta ve kontrollü havalandırma sistemi sayesinde de iç mekân konfor kalitesi iyileştirilerek daha nitelikli bir öğrenme ortamı sunulmaktadır. Söz konusu binanın havalandırma ve aydınlatma amaçlı elektrik tüketim değeri 5,8 kWh/m².yıl olup Pasif Ev Standardı değerleri içinde yer almaktadır (Şekil 2.13) [40].



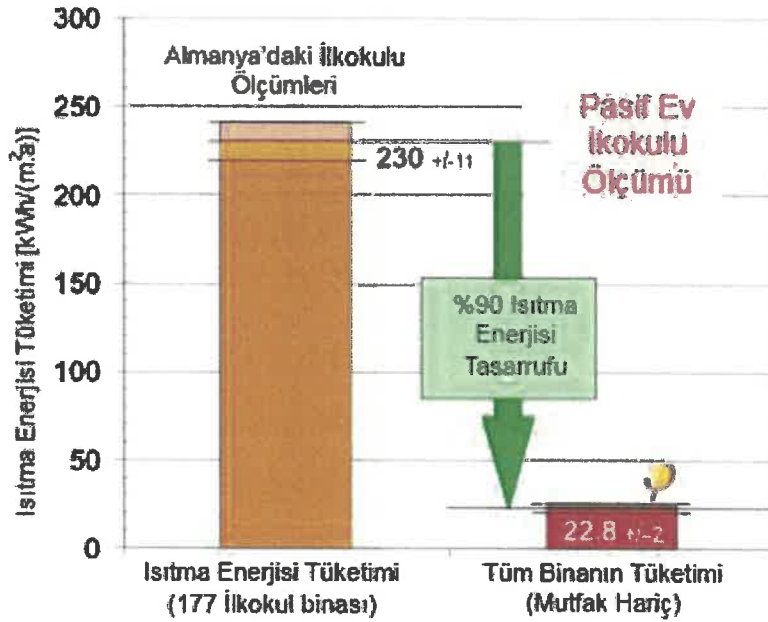
Şekil 2.11: Riedberg İlköğretim Okulu Zemin Kat Planı [40].

Tablo 2.4: Riedberg İlköğretim Okulu malzeme özellikleri ve U-değerleri [40].

Yapı Elemanları	Kuruluş-Malzeme Özellikleri	U-değeri [W/m ² K]
ÇATI	<ul style="list-style-type: none"> Yalıtımlı boşluksuz düz çatı kaplaması 280 mm betonarme döşeme 300 mm ısı yalıtımı (EPS) 	0,11
DIŞ DUVARLAR	<ul style="list-style-type: none"> 200 mm betonarme kolon, 280 mm taş yünü Paslanmaz çelik eternit Cephe paneli 	0,16
BODRUM ZEMİNİ	<ul style="list-style-type: none"> 5mm linolyum 12.5 mm alçıpan lif levha, 2x15mm fibrokarbon paneller 20 mm ses izolasyonu 100 mm ısı yalıtımı (EPS) 12,5 mm alçıpan 500 mm betonarme 	0,21
PENCERELER	<ul style="list-style-type: none"> Üç camlı, soygaz dolgulu cam sistemi 	0,8



Şekil 2.12: Riedberg İlköğretim Okulu dış ve iç mekan perspektifleri.



Şekil 2.13: Riedberg İlkokulu Enerji Tüketimi [40].

Riedberg İlköğretim Okulunda havalandırma sistemlerinin uygun bir şekilde işletilmesi sonucunda, sınıflarda kişi başına 16,4 m³ temiz hava elde edilebildiği saptanmıştır. Ölçülen CO₂ konsantrasyonları çoğunlukla 1500 ppm sınır değerinin altında tespit edilmiştir. Gerçek konsantrasyon sonuçları ise izleyici gaz testi kullanılarak ölçülmüştür [40].

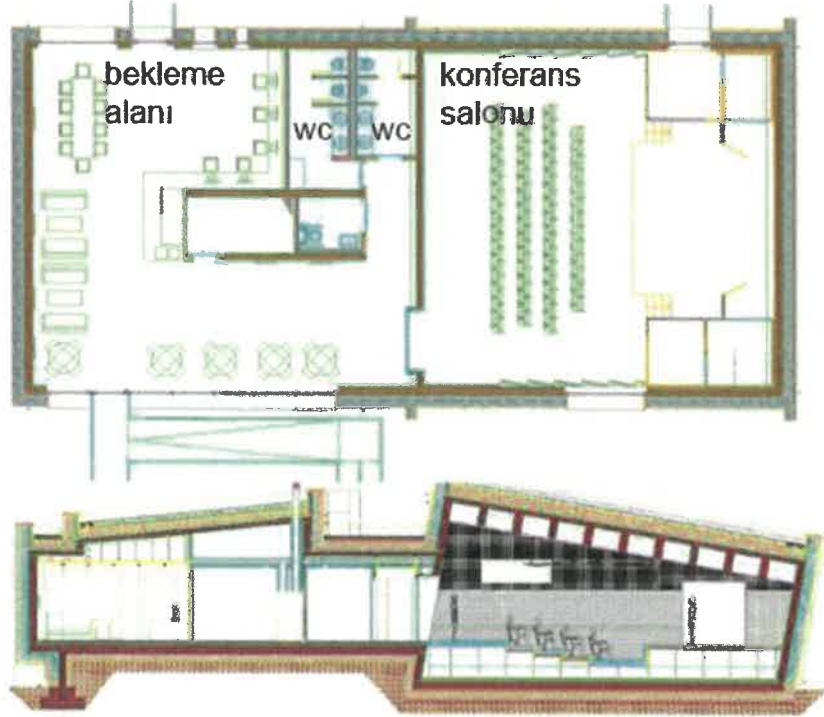
Yeşil Ev-Gaziantep, Türkiye, 2011-2013;

Türkiye'nin ilk pasif evi Gaziantep Ekolojik kent projesi kapsamında örnek bir yapı olarak geliştirilen "Gaziantep Ekolojik Binası"dır (Resim 2.3) [41]. Bir pasif ev, Türkiye'de günümüz standart binalarına kıyasla %75 oranında enerji tasarrufu sağlarken Gaziantep Ekolojik Binasında bu oran yaklaşık %90 düzeyindedir [42]. Bu binada yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ile çevreye duyarlı, kendi enerjisini üreten bir yapı olması amaçlanmıştır.



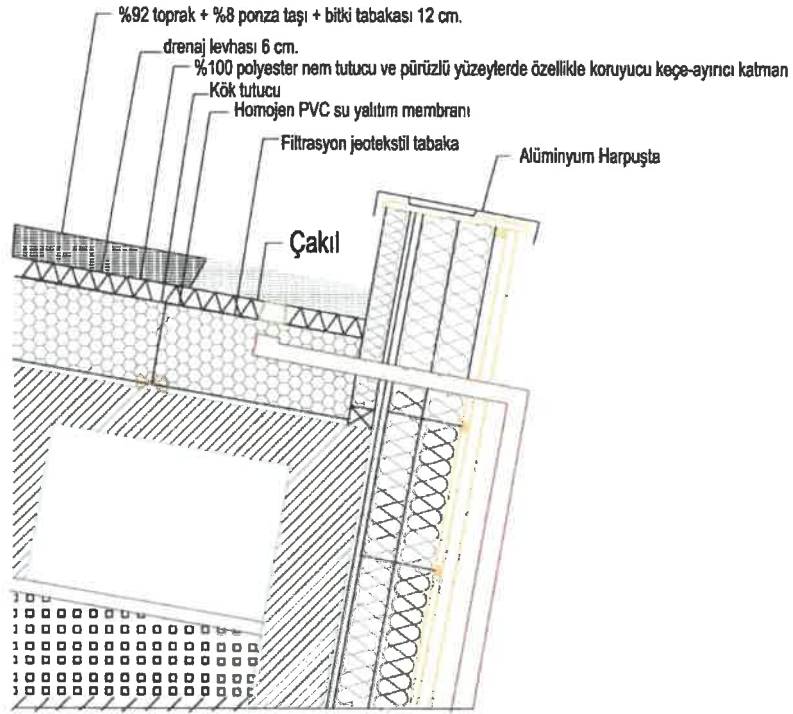
Resim 2.3: Gaziantep Yeşil Ev görünüşü.

Kompakt bir forma sahip binanın dış duvarlarında 40 cm kalınlığında ısı yalıtımı (cam yünü) kullanılmıştır (Şekil 2.14). Pencere soygaz dolgulu, 3 camlıdır. Binanın tüm elektrik gereksinimi fotovoltaik paneller aracılığı ile sağlanmaktadır; aydınlatma için gerekli enerjinin en düşük düzeyde olabilmesi için LED armatürler kullanılmıştır [42]. Ayrıca bina çatısının bitkilendirilmesi ile ısı adası etkisinin azaltılması yanı sıra yalıtım özelliği artırılmakta ve CO₂ emilimi ile çevre hava kalitesinin iyileştirilmesine katkı sağlamaktadır.



Şekil 2.14: Gaziantep Yeşil Ev plan ve kesiti [41].

Enerji tüketiminin yanı sıra su kullanımını azaltmak amacıyla gri sular rezervuarlarda tekrar kullanılmakta olup yağmur suları da bir depoda toplanarak bahçe sulamada değerlendirilmektedir. Şekil 2.15'te yapı çatı detayı, Tablo 2.5'te yapı malzemelerinin özellikleri ve U – değerleri görülmektedir.



Şekil 2.15: Gaziantep Yeşil Ev çatı detayı [41].

Tablo 2.5: Gaziantep Yeşil Ev malzeme özellikleri ve U-değerleri [41, 43].

Yapı Elemanları	Kuruluş-Malzeme Özellikleri	U-değeri [W/m ² K]
ÇATI	<ul style="list-style-type: none"> • %92 toprak + %8 ponza taşı + bitki tabakası 120mm • 60 mm Drenaj levhası • %100 polyester nem tutucu ve koruyucu keçe • Kök tutucu • Homojen PVC su yalıtım membranı • Filtrasyon jeotekstil tabaka • Betonarme döşeme • 240 mm cam yünü şilte 	0,13
DIŞ DUVARLAR	<ul style="list-style-type: none"> • 160 mm cam yünü levha • Dış duvar • 60 mm cam yünü levha 	0,14
BODRUM DUVARLARI	<ul style="list-style-type: none"> • 200 mm Foamboard levha • Dış duvar • 100 mm ısı yalıtımı (EPS) • İç sıva 	0,14
PENCERELER	<ul style="list-style-type: none"> • Üç camlı, sovgaz dolgulu cam sistemi 	----

Resim 2.4'te Gaziantep Yeşil Ev'e ait ısı yalıtım uygulaması görülmektedir.



Resim 2.4: Gaziantep Yeşil Ev dış duvar ısı yalıtım uygulaması [41].

2.3 Bina Kabuğundaki Sorunlar

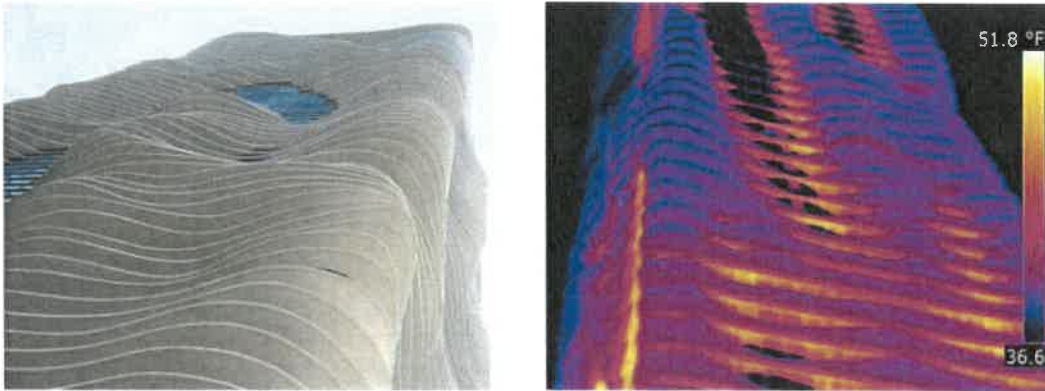
İç ortam ile dış ortam arasında sınır oluşturan bina kabuğu gerek enerji verimliliği gerekse iç ortam konfor koşullarının sağlanmasında en etkili yapı elemanıdır. Isı kayıp/kazançları, partiküllerin iç mekana girmesinin engellenmesi ve gürültü korunumu bina kabuğundan beklenen diğer işlevlerdir.

Bina kabuğu dış ortamla doğrudan etkileşim halindedir, dolayısıyla zamanla çevresel etkiler veya uygulamalardan kaynaklı sorunlar nedeni ile deforme olabilir. Bunun sonucu bina kabuğu dış ortamdan gelen etkilere karşı gerekli direnci göstermez ve ısı köprüleri, hava sızmaları ve nem problemleri oluşabilir.

2.3.1 Isı Köprüleri

Isı köprüsünün en temel tanımı, ısı akışının yapının homojen bölgesine kıyasla daha fazla gerçekleştiği noktalar olarak belirtilmektedir. Isı köprüleri;

- Farklı yapı elemanlarının bir araya geldiği birleşim bölgeleri,
- Isı yalıtımının kesintiye uğradığı bölgeler,
- Yapının geometrisinden kaynaklanan boyutsal farklılıklar olarak üç farklı şekilde ele alınabilir [44].



Şekil 2.16: Isı köprüsü termal kamera görüntüsü.

Isı köprülerinin oluşumunda malzeme özelliği, yapı geometrisi ve taşınımsal olarak derzlerde veya sistemi delen elemanlar etkilidir. Genellikle ısı köprüleri yapı elemanlarının ısı direncinin istenilen düzeyde olan bölgelerine göre küçük bir alan kaplayan metal lentolarda, duvar bağlantı yerlerinde, parapetlerde, balkon döşemelerinde, iç yüzeyi dış yüzeye bağlayan döşemelerde ve taşıyıcı kolonlarda görülmektedir (Şekil 2.16) [45]. Bu bölgelerdeki kontrolsüz ısı geçişleri iç yüzey sıcaklıklarını olumsuz yönde etkiler. Isı sıcaktan soğuk ortama doğru yol aldığından dolayı ısı köprüleri bu yüzeylerdeki sıcaklıkların azalmasına neden olur, iç yüzey sıcaklıkları iç bağıl nem oranına bağlı olarak yoğunlaşma oluşturabilir [46]. Yoğunlaşma sonucu oluşan yapısal ve görsel bozulmaların dışında nemin birikerek yapı elemanına etki etmesi ile küf oluşumu, özellikle alerji ve solunum yolu rahatsızlıkları gibi kullanıcı sağlığını olumsuz yönde etkileyebilmektedir [47]. Ancak yapıdaki tüm ısı köprüleri göz önünde bulundurulmuş iletim kayıpları, sadece standart yapı elemanlarının dış yüzeyleri ve düzenli U-değerleri kullanılarak hesaplanan sonuçtan büyük değilse, bu binanın kabuğunda ısı köprülerinin olmadığı kabul edilir. Isı köprüsüz tasarım sonucu konstrüksiyonun dayanıklılığı artar ve ısıtma enerjisinden tasarruf sağlanır. Ayrıca ısı köprüsü oluşumunun engellendiği tasarım kullanıcılara konfor sunar, yapı işletme ve bakım giderleri azalır [48].

Pasif evlerde ısı köprülerinin bu iki etkisinden de kaçınılabılır, çünkü pasif evlerde iç yüzey sıcaklıkları yüksektir. Dolayısı ile kritik nem seviyeleri gerçekleşmez ve ek ısı kayıpları önemsiz hale gelir. Isı köprüleri 0,01 W/(mK) sınır değerinden daha düşük ise “ısı köprü serbest tasarımı” kriterlerini karşılar [48]. Enerji kayıplarının azaltılması ve bina kabuğu sızdırmazlığında etkili olan ısı köprüleri termal kamera görüntülemesi ile test edilebilir [49].

2.3.2 Nem Sorunları

Yapı üzerinde etkili olan nem dış çevreden ve iç çevreden kaynaklanır. Mekanlarda çeşitli aktiviteler sonucu oluşan su buharı, yapı elemanlarının yüzeyinde terleme, çiçeklenme ve sıva dökülmesine neden olarak hem kullanıcı konforunu olumsuz etkiler hem de yapı hasarlarına neden olur. Yağış sularının duvarın bünyesine girmesi, iç ve dış ortamdaki bağıl nem ve sıcaklık farkına bağlı olarak yapı elemanlarının içinde difüzyon yoluyla taşınan buharın yoğunlaşması, çatı yalıtımı/tesisat boşluklarındaki kaçaklar sonucu dış duvarın bünyesine su nüfuz etmesi sonucu nem sorunları oluşabilir. Ayrıca yapı kabuğundaki hava kaçaklarının olduğu gözeneklerden su tanecikleri geçerek nem sorununa sebep olduğu gibi iç mekana sızan havanın içinde bulunan buhar tanecikleri de yoğunlaşmaya uğrayarak nem sorunu oluşturabilir.

2.3.3 Hava Sızıntıları

Yapı kabuğunda, iç-dış ortam arasında rüzgardan kaynaklı basınç farkına dayalı veya iç-dış ortam sıcaklık farkının yarattığı basınç farkına dayalı olmak üzere hava sızıntıları söz konusudur. Yapı kabuğunda hava sızdırmazlığın sağlanmasında amaç bina enerji performansının yükseltilmesi, yoğunlaşmaya dayalı yapı hasarlarının önlenmesi ve iç ortam hava kalitesinin sürdürülmesidir [50].

Bina kabuğundan taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kayıplarında hava sızıntıları etkilidir. Dış ortamdaki havanın, bina kabuğundaki çatlaklardan, istenmeyen açıklıklardan veya dış kapı ve pencerelerin kullanımı sırasında oluşan geçişlerden iç ortama akışı hava sızıntısı

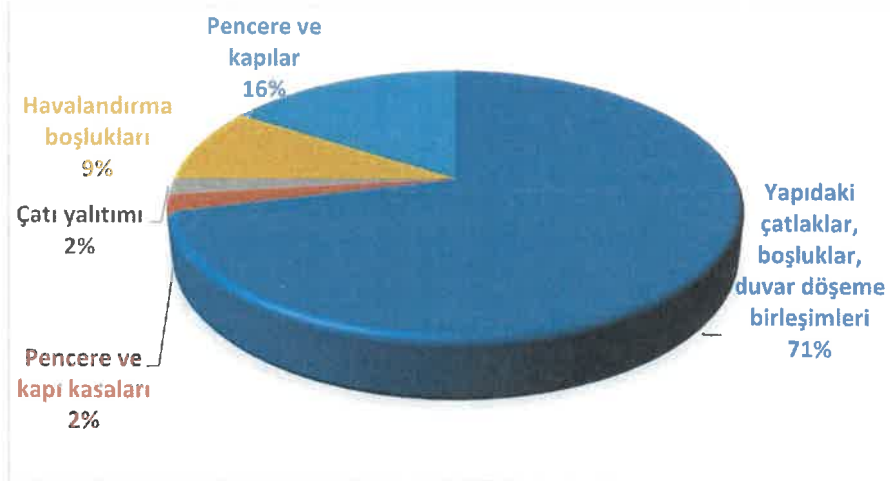
(infiltrasyon), iç ortamdaki havanın açıklıklardan dış ortama akışı da hava sızıntısı (eksfiltrasyon) veya hava kaçağı olarak tanımlanabilir [44]. Bina kabuğundaki hava akışının yönünü dış ortam ve iç ortam arasındaki hava basınç farkı belirler. Dış ortamdaki hava basıncının yüksek olması durumunda (pozitif basınç) infiltrasyon, iç ortamdaki hava basıncının yüksek olması durumunda (negatif basınç) eksfiltrasyon olur [51]. Bina kabuğu boyunca 50 Pa basınç farkında, yapı kabuğunun 1 m²'lik yüzeyinden geçen ortalama hava hacmi hava sızıntısıdır [52]. Binalarda ısı kayıplarının yaklaşık %20-%50 oranı hava sızıntılarından kaynaklanmakta olup bina kabuğunda hava sızıntısının gerçekleştiği noktalar [50]:

- Malzemelerin içindeki kılcal boşluklar,
- Pencere-kapı duvar birleşim noktaları,
- Farklı yapı elemanı/yapı malzemelerin birleşim noktaları,
- Mekanik ve elektrik tesisatı gereçleriyle birleşim yerleridir.

Hava sızdırmazlık kapasitesini etkileyen en önemli faktörler ise;

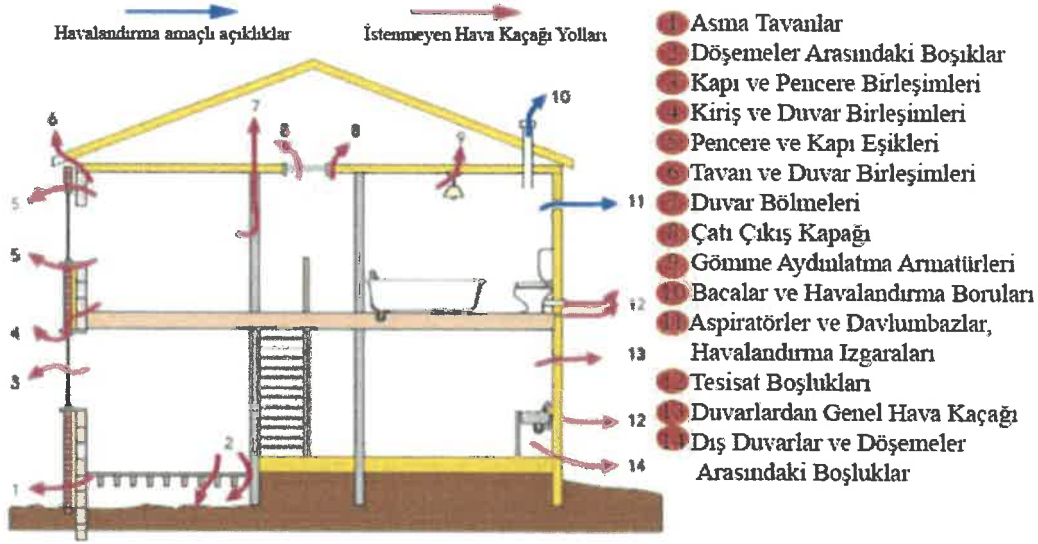
- Uygulamalarda işçilik kalitesi,
- Farklı malzeme birimlerinin birleşim yerleri,
- Mekanik ve elektrik tesisatlarının çakıştığı bölgeler sıralanabilir [53].

Bina kabuğundaki hava sızıntılarını etkileyen parametrelerin ne oranda etkili olduğu Şekil 2.17'de yer almakta olup çatlaklar, boşluklar ve derzler, dış duvarlar ile kolon/kiriş birleşimleri, ahşap zeminler, tavan ve duvar birleşimleri, servis kanalları, pencere ve kapılar şeklinde sıralanmaktadır [54].



Şekil 2.17: Parametrelerin hava kaçaklarını etkileme yüzdeleri [54].

Şekil 2.18'de yapı kabuğunda pencere, baca, aspiratör gibi havalandırma amaçlı açıklıkların dışında istenmeyen hava sızıntılarının olabileceği bölgeler görülmektedir.



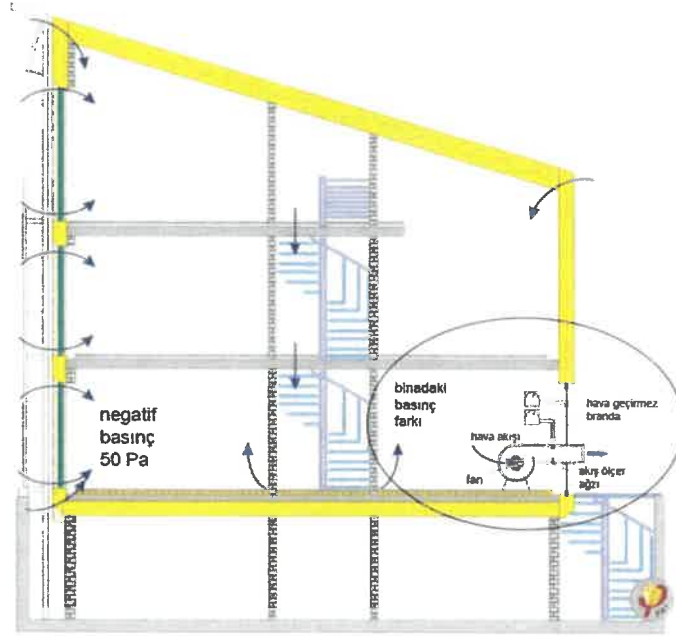
Şekil 2.18: Binalarda hava sızıntısı oluşturabilecek yerler [50].

Hava sızıntısı ile ilgili sorunlar;

- Isınan hava kaybı ve buna bağlı olarak artan ısıtma talebi ve ısı yükünün artması,
- Birincil enerji artışı,
- CO₂ emisyonunda artış,
- Yoğuşmaya bağlı olarak yapı malzemelerinde çürütme, bozulma,
- Küf ve mantar oluşumuna bağlı olarak iç mekânlarda sağlık sorunlarına sebebiyet şeklinde sıralanabilir [51].

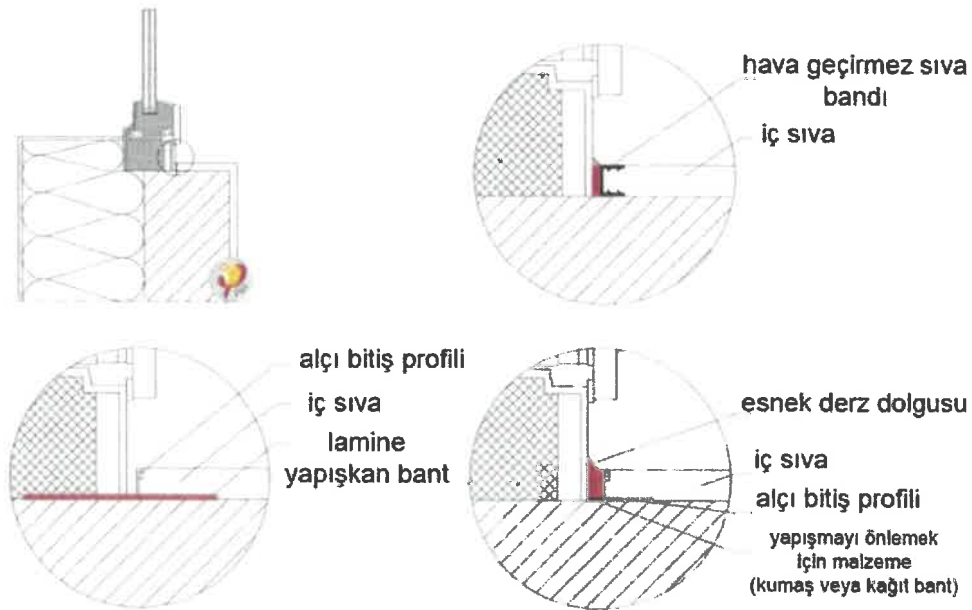
Bina kabuğundaki derzler ve boşluklardan akan havanın yapı fiziği açısından getirdiği ısı kayıplarının artması, ses yalıtımının azalması ve kullanıcı sağlığını etkileyen partiküllerin iç ortama geçişi gibi olumsuzluklar söz konusudur. Dolayısı ile yapıdaki kontrolsüz hava sızıntısı yoğuşma ve küflenmeye neden olarak kullanıcı sağlığını ve yapı biyolojisini olumsuz etkiler. Bu nedenle hava sızdırmazlığı standartları uzun yıllarda yapılan çalışmalar sonucu belirlenmiştir [52]. Ayrıca bina kabuğu hava sızdırmazlık durumu yeterli düzeyde olmayan binalarda düşük rüzgar hızlarında dahi hava sızıntıları görülebilmektedir. Bu da bize rüzgarın hava sızdırmazlık üzerinde etkili olabileceğini göstermektedir. Hava sızdırmazlığın sağlanması ile neme bağlı hasar ve hava kaçaklarına bağlı ısı kayıpları engellenir; ayrıca gerek ses yalıtımı gerekse iç mekân hava kalitesinin olumsuz etkilenmesinin de önüne geçilir. Enerji etkin konutlarda hava sızdırmazlık açısından hava değişim oranı değeri $n_{50}:1,0$ pasif evlerde ise $n_{50}:0,6$ değerinin altında olması gerekir [50].

Binada hava sızdırmazlığı iç ve dış ortam arasında 50 Pa basınç farkı oluşturularak fan basınçlandırma yöntemi olan BlowerDoor Test yöntemi ile ölçülür. Şekil 2.19'da BlowerDoor ölçümüne ilişkin ayrıntılar görülmekte olup fan aracılığı ile sağlanan basınç farkı (10 ila 70 Pa negatif basınç arasındaki değerler) düzenekte yer alan ölçüm cihazı aracılığı ile kaydedilmektedir. Bu ölçümlerin sonucunda $1/s$ ya da h^{-1} birimlerinde saatteki hava değişim oranı olan n_{50} değeri elde edilir. 50 Pa basınç altındaki hava akımı olan V_{50} değeri bina kabuğunun yüzey alanı olan A_E 'ye bölünür ve bina kabuğunun metre kare başına hava sızdırmazlık değeri olan q_{50} değeri elde edilir.



Şekil 2.19: Hava sızdırmazlığı ölçümü [53].

Hava sızıntılarını normalleştirmede bina hacmi, bina kabuğu alanı ve yapı taban alanı etkilidir. Bina kabuğunda çok farklı malzemelerin bir arada kullanılması hava sızdırmazlığı etkileyebilir. Hava sızıntılarını normalleştirmenin bitişik nizamdaki binalarda uygulaması daha kolaydır. Kullanılabilir alanı yapı taban alanına en yakın şekilde ölçeklendiğinden normalleştirme daha iyi şekilde görülebilir. Bu normalizasyon ASHRAE (2001) tarafından kullanılan normalize edilmiş sızıntı gibi farklı türde bir sızıntıya dönüştürülebilir [55]. Hava sızıntılarını önlemek veya azaltmak adına Şekil 2.20’de görüldüğü gibi doğrama-duvar birleşiminde önlemler alınabilir. Tablo 2.6 ve Tablo 2.7’de ülkelere göre ve farklı türdeki konutlara göre hava değişim oranları görülmektedir.



Şekil 2.20: Doğrama-duvar birleşimi sızdırmazlık önlemleri [50].

Tablo 2.6: Ükelere göre konutlarda hava sızdırmazlık şartları [56].

Standart	Bölge		Açıklama	Gereklilik	ACH 50 n50
Pasif Ev	Avrupa		<0.6	ACH50	<0.6
	Avusturya	Doğal havalandırılan	<3.0	ACH50	<3.0
Mekanik havalandırılan		<1.5	ACH50	<1.5	
	Bulgaristan	Apartmanlar	Yüksek sızdırmazlık	2 den az	ACH50 2 den az
			Orta sızdırmazlık	2.0 - 5.0	ACH50 2.0-5.0
			Düşük sızdırmazlık	5.0 den büyük	ACH50 5 den büyük
		Tek aile evleri	Yüksek sızdırmazlık	4 den az	ACH50 4 den az
			Orta sızdırmazlık	4.0-10.0	ACH50 4.0-10
			Düşük sızdırmazlık	10 dan büyük	ACH50 10 dan büyük
TNI 730330	Çek Cumhuriyeti	Doğal		4.5	ACH50 4.5
		Zorlanmış		1.5	ACH50 1.5
		Zorlanmış + ısı geri kazanımlı		1.0	ACH50 1.0
	Danimarka	Konut	<1.5	(L/s50)/m ²	<6.1
	Fransa	Tek aile evi	<0.8	(m ³ /h4)/m ²	<4.5
	Almanya	Havalandırma sistemli	<1.5	ACH50	<1.5
		Havalandırma sistemi yoksa	<3	ACH50	<3.0
	Hollanda	Havalandırma sistemli	<2-3	ACH50	2-3
		Havalandırma sistemi yoksa	<4-6	ACH50	4-6
	Portekiz	Konut	<0.6	ACH50	<0.6
TS 825	Türkiye	Çok katlı bina	Yüksek	2den küçük ACH 50	ACH50 < 2
			Orta	2-5 ACH 50	ACH50 2-5
			Düşük	ACH50 5 den büyük	ACH50 5 den büyük
		Tek katlı bina	Yüksek	ACH50 4 den küçük	ACH50 4 den küçük
			Orta	ACH50 4.0-10.0	ACH50 4.0-10.0
			Düşük	ACH50 10 dan büyük	ACH50 10 dan büyük

Tablo 2.7: Farklı konut tipleri ve standartlara göre hava değişim oranları [57].

Bina Tipi, Kodu veya Standart	ACH
Eski, çok sızdıran konut	8+
Eski, sızdıran konut	4+
Tipik eski konut	2
İyi inşa edilmiş eski konut	1
Standart modern konut	0,5 - 1
Son derece sızdırmaz yeni yapı	<0,35
Uluslararası konut yönetmeliği	En yüksek 7
LEED	En yüksek 4
Enerji star 2,5 ve 3	En yüksek 4
Uluslararası enerji tasarrufu	En yüksek 3
Pasif Ev	En yüksek 0,6
ASHRAE, Konut	0,1 - 2,0
ASHRAE, Ticari	0,5 - 2,0

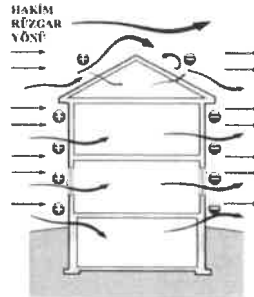
2.3.3.1 Binalarda Hava Sızıntısı Mekanizması ve Etkenleri

Bina kabuğuna etki eden hava hareketlerinin binanın cephelerinde pozitif ve negatif basınç alanları oluşturulmasıyla hava sızıntısı mekanizması oluşmaktadır. Hava sızıntıları temelde iç ortam ve dış ortam arasındaki basınç farkından dolayı meydana gelmektedir. Bina kabuğunun pozitif basınç altında bir noktasında iç ortama hava sızarken negatif basınç altında olan başka bir noktasında hava dış ortama sızar. Böylelikle hava sızıntısı mekanizması bir döngü içinde çalışmaktadır [58, 59].

Hava sızıntısı mekanizması 3 temel başlıkta incelenebilir. Bunlar;

- Rüzgar Etkisi,
- Baca Etkisi,
- Mekanik İklimlendirme Cihazlarıdır.

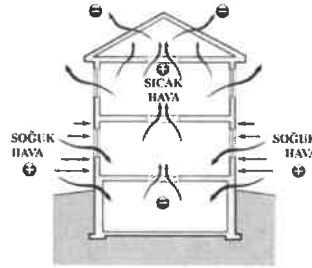
Rüzgar Etkisi, Binanın dış yüzeyine rüzgarın çarpmasıyla bina kabuğunun hakim rüzgara bakan cephelerinde pozitif basınç, rüzgardan korunaklı cephelerinde ise negatif basınç oluşmaktadır. Cephelerde etki eden pozitif basınç itme etkisi oluştururken negatif basınç emme etkisi oluşturmaktadır. Şekil 2.21’ de görüldüğü gibi hava pozitif basınç alanlarından iç ortama, negatif basınç altında ise dış ortama sızmaktadır [59, 60, 61].



Şekil 2.21: Rüzgar Etkisi ile bina kabuğu hava sızıntısı [4].

Rüzgar yeryüzüne paralel bir şekilde yatay yönde ilerleyen bir hava hareketi olduğu için binanın dış ortam ile en çok ilişki kuran dikey elemanları ve dış duvarlar yapının diğer elemanlarına göre daha çok rüzgar etkisinde kalırlar. Binanın bulunduğu bölgenin iklimi göz önünde bulundurularak bina kabuğu çözümlerinin geliştirilmesiyle rüzgara bağlı hava sızıntıları en aza indirilebilir.

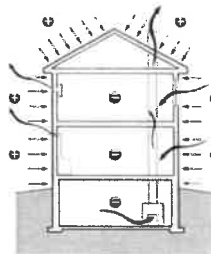
Baca Etkisi, iç ve dış ortam arasındaki sıcaklık farkının basınç farkı oluşturması nedeniyle bina içerisinde oluşan dikey hava hareketidir. Baca etkisinin iç ortamdaki hava yoğunluğu ve bina yüksekliği ile ilişkili olduğu söylenebilir [59, 60, 62].



Şekil 2.22: Kış döneminde baca etkisi ile bina kabuğunda hava sızıntısı [4].

Sıcak hava soğuk havadan daha az yoğun olduğundan dolayı özellikle kış dönemlerinde binalarda ısıtılan hava yükselir ve bina kabuğunun üst bölgelerinde basınç oluşturarak bu bölgelerde bulunan çatlaklarda hava sızıntıları oluşabilir. Şekil 2.22’de görüldüğü üzere alt bölgelerde yoğunlaşan soğuk hava ise iç ortam hava basıncının düşmesine sebep olur. İç ortam sıcaklığının dış ortam sıcaklığından düşük olduğu özellikle yaz dönemlerinde ise binanın üst bölgelerindeki çatlaklardan hava iç ortama sızabilir Isınan havanın yükselmesi prensibine dayanan baca etkisi ile hava sızıntısı genellikle ısıtmanın gerçekleştiği kış aylarında daha sık görülmektedir.

Mekanik İklimlendirme Sisteminin Etkisi, doğal havalandırma ile yeteri kadar havalandırılmayan yerlerde iç ortam hava kalitesini sağlayabilmek adına mekanik iklimlendirme sistemleri kullanılmaktadır. Mekanik iklimlendirme sistemleri ile yapılan havalandırmada bina içerisinde oluşan hava hareketleri sonucu basınç farkı oluşur [50, 60, 61]. Şekil 2.23’de görüldüğü üzere mekanik iklimlendirme cihazları kullanıldığında iç ortam basıncı dış ortam basıncından düşük olur ve dış ortama bina kabuğundaki çatlaklardan hava sızıntıları gerçekleşebilir.



Şekil 2.23: Mekanik iklimlendirme sistemi etkisi ile bina kabuğunda hava sızıntısı [4].

Hava Sızıntısını Etkileyen Doğal Çevreye Bağlı Etmenler;

Bina tasarımında ele alınması gereken en önemli parametrelerden biri bulunduğu konumdur. Binanın bulunduğu fiziksel çevrenin özellikleri ve iklim şartlarının hava sızdırmazlık üzerinde etkili olmasından dolayı doğal çevredeki etmenlerin tasarımda dikkate alınması önemlidir.

Bina kabuğunda hava sızıntısını etkileyen doğal çevreye bağlı etmenler;

-İklim Bileşenleri,

-Topografya,

-Bitki Örtüsüdür.

İklim Bileşenleri, binanın bulunduğu konuma bağlı olarak rüzgar, hava sıcaklığı ve bağıl nem gibi iklim özelliklerinde farklılıklar görülmektedir.

Bina kabuğu hava sızdırmazlığını etkileyen en önemli doğal çevre parametresi rüzgar olup çoğu zaman rüzgarın neden olduğu hava sızıntısı gözlem yoluyla da anlaşılabilir. İç ortamda ısı, uğultu gibi rahatsız edici sesler rüzgarın şiddetine göre hava sızıntıları sonucunda duyulabilir [61]. Ayrıca rüzgar etkisi ile dış ortamda bulunan partiküller de iç ortama taşınabilmektedir.

Hava sızdırmazlığı etkileyen diğer bir iklim parametresi ise hava sıcaklığıdır. Binanın bulunduğu konumun iklim özelliklerine göre hava sıcaklığı sürekli değişim göstermektedir. Binaların iç ortam sıcaklığının dış ortam sıcaklığından düşük veya yüksek olması baca etkisi oluşturduğu için hava sızıntısı oluşmaktadır.

Atmosfer basıncı hava sızıntısının en temel unsuru olup sıcaklıkla ters orantılıdır. Hava akımı yüksek basınçtan alçak basınca doğrudur [59, 63, 64]. Deniz seviyesinden yukarı çıkıldıkça sıcaklık düşmektedir ve dolayısıyla yoğunlaşan hava moleküllerinin ağırlaşması ile yüksek basınç oluşur. Deniz seviyesine yakın yerlerde ise sıcaklık yükselmekte ve hafifleyen havanın yükselmesiyle alçak basınç oluşmaktadır. Özellikle deniz seviyesinden yüksek yerlerde dış ortam basıncının iç ortam basıncından daha fazla olması nedeniyle bina kabuğunda hava sızıntısı oluşma olasılığı daha yüksektir.

Sıcak bölgelerde buharlaşma daha fazla olduğundan havadaki bağıl nemin daha fazla olduğu görülmektedir. Havadaki su buharı doyma noktasına ulaştıkça yağış başlar. Yağış suyu bina kabuğunu oluşturan yapı bileşen ve malzemelerine zarar verebilir [8]. Su molekülleri hava moleküllerinden küçük olduğundan dolayı bina kabuğunda hava sızıntısı oluştuğunda hava ile beraberinde su buharı da taşınmaktadır. İç ortam ve dış ortamdaki sıcaklık farkına bağlı olarak hava sızıntısının oluştuğu duvarın iç kesitlerinde su buharının yoğunlaşması olasıdır.

Topografya, topografik koşullar rüzgarın yönüne ve hızına doğrudan etki etmektedir. Topografyadaki ani değişiklikler rüzgarın hızını arttırdığı gibi deniz seviyesinden yüksek yerlerde, etrafı açık engebesiz tepelerde, yamaçlarda ve vadilerde rüzgar etkisi daha çok görülmektedir. Bu sebeple yüksek rakımlı alanlarda konumlanan binalar, rakımı daha az olan alanlarda konumlanan binalara oranla daha az rüzgara maruz kalırlar ve bu binalarda hava sızıntısı oluşma ihtimali daha fazladır [65].

Bitki Örtüsü, topografya gibi rüzgar hızını etkileyen bir doğal parametredir. Arazinin yüzey pürüzlülüğünü arttıran yüksek ağaçlar, geniş ormanlık alanlar rüzgar hızını azaltır. Denize açık kıyı şeritlerinde ise yüzey pürüzsüzlüğü diğer tüm arazi tipleri içinde en az olandır ve bu nedenle bu alanlarda rüzgar hızı en fazla olmaktadır [61, 64]. Az katlı binaların cephelerine etki eden rüzgarı hafifletmek amacıyla bitkiler kullanılabilir, ancak bitki seçiminde bina cephesine uzaklık, yükseklik, yaprak yoğunluğu ve kış döneminde dökülme durumu dikkate alınması gereken noktalardır [66].

Hava Sızıntısının Mekanizmasını Etkileyen Yapma Çevreye Bağlı Etmenler;

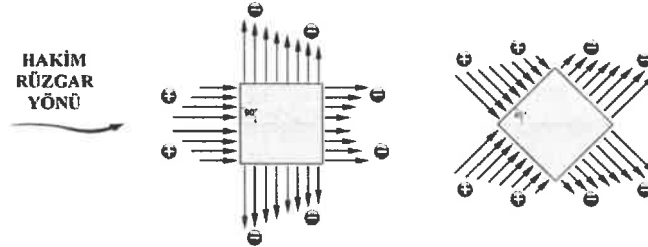
Bina kabuğunda hava sızıntısı mekanizmasını rüzgar ilişkisine bağlı olarak etkileyen yapma çevreye bağlı etkenler;

- Binanın bulunduğu konum,
- Binanın yönlendirilişi,
- Bina aralıkları,
- Bina formudur.

Binanın bulunduğu konum, çevre şartlarının belirleyicisidir. Açık kırsal alanda ve kentsel yapılaşmanın olduğu alanlarda farklı hava hareketleri görülmektedir. Yüzey pürüzlülüğü gibi kent merkezlerinde de binaların birbirlerine göre konumlarından dolayı rüzgarın şiddet ve hareketi farklılık göstermektedir [65].

Yüzey pürüzsüzlüğünün az olduğu bölgelerde ve binalaşmanın az olduğu yerlerde rüzgar etkisi daha fazladır. Hakim rüzgar yönüne göre art arda dizili bina blokları birbirinin rüzgarını kestiği gibi aynı zamanda güneş geliş açısına göre güneş ışınlarını da kesebilirler. Her ne kadar binaların art arda konumlanması istenmeyen hava sızıntılarını önlese de pasif havalandırma yöntemlerinden yararlanılmasını olumsuz etkileyebilir.

Binanın yönlendirilişi, hakim rüzgarın bina cephesinde basınç dağılımını etkiler, böylece olası hava sızmalarının yönünü belirleyici rol oynar. Hakim rüzgarın bina cephesine dik açı ile etkimesi sonucu cephede pozitif basınç oluşurken diğer üç cephede ise negatif basınç oluşur. Ancak hakim rüzgarın binaya 45° açı ile etkimesi sonucu iki cephede pozitif basınç diğer iki cephede negatif basınç oluşmaktadır (Şekil 2.24).



Şekil 2.24: Binanın plan düzleminde yönlendirilişine göre, rüzgar etkisi ile bina etrafındaki basınç dağılımı [4].

Bina aralıkları, rüzgar hız ve yönünü değiştiren önemli etkenlerden biridir. Rüzgar dar alana girdiğinde daha şiddetli esmektedir ki bu olaya Venturi prensibi denir. Hakim rüzgar yönünde olan binanın diğer binanın rüzgarına engel olmaması için binalar arasında öndeki

binanın yüksekliğinin 6 katı kadar açıklık bulunması gerekir. Eğer binalar arası açıklık bu koşulu sağlamaz ise bina zemin katından başlayarak yüksekliğinin 0.6'sı kadar rüzgardan korunmuş olmaktadır [60, 62].

Bina formu, hava sızıntısına etki eden bir başka yapay etkidir. Bina formu ile rüzgarın ilişkisi bina aerodinamiğidir. Prizmatik formlardaki binaların rüzgar etkisi ile basınç dağılımı silindirik formdaki yapılara göre daha kolay tespit edilebilmektedir. Günümüzde yapıların cephelerindeki basınç dağılımını belirleyebilmek için rüzgar tüneli testleri yapılmaktadır ve bu test sayesinde bina cephesinin her noktasında meydana gelen basınç dağılımı belirlenebilmektedir [60, 62].

2.3.3.2 Hava Sızdırmazlığın Enerji Tüketimi Üzerindeki Etkisi

Bina kabuğundaki hava sızıntısı hem binanın iç ortam ısı konforunu etkilemekte hem de ısıtma ve soğutma yüklerinin artışında önemli rol oynamaktadır. Özellikle soğuk dönemlerde sızıntıya bağlı hava akımı iç mekanı soğutur. Bu nedenle özellikle soğuk iklimlerde hava kaçakları binaların ısıtma amaçlı enerji yükünü artırır. Enerji kayıplarının önemli bir bölümü bina kabuğundaki hava sızıntılarının azaltılması ile önlenir; böylece bina ısıtma ve soğutma enerjisindeki talebin %9 ila %36 oranında azaltılabildiği söylenebilir [67].

Hava sızdırmazlığı yeni binalarda ısıtma yükünün %25'inden soğutma yükünün ise %4'ünden sorumludur [68]. Amerika Birleşik Devletleri'nde yapılan bir çalışmada yetersiz hava sızdırmazlığının mevcut ofis binalarında ısıtma talebini %13 ila %25 oranında arttırdığı belirtilmiştir. Bu ofislerde kişi başına 2.5 L/s'yi havalandırmak için gerekli yıllık ısıtma enerjisi 10 PJ iken soğutma için 7 PJ'dir [6]. Isı yalıtımlı ve hava geçirmez kabuğa sahip binalarda enerji tüketimi 60 kWh/m².yıl iken hava sızdırmaz pasif ev standardına sahip binalarda bu değer 10 kWh/m².yıl'dır. Yeterli ısı yalıtımlı ve hava geçirmez inşaat teknolojileri ile inşa edilen binalarda sıfırın altındaki sıcaklıklarda da konforlu bir iç ortam sağlanabilmektedir [69]. Almanya'da yapılan bir çalışmada 48 düşük enerjili binanın hava sızdırmazlık düzeyi ölçülmüş ve çoğunun n₅₀ değerinin 3 (1/s)'ten büyük olduğu tespit edilmiştir. Hava değişim oranı değerinin 3'ten büyük olması durumunda mekanik havalandırmanın verimli bir şekilde kullanılamayacağı bildirilmektedir [68].

2.3.3.3 Hava Sızdırmazlığı-İnsan Sağlığı Etkileşimi

“Sağlık, sadece hastalık veya sakatlığın olmaması değil tam bir fiziksel, zihinsel ve sosyal refah durumudur.” (DSÖ Tanımı 22.07.1946) İnsanlar günlerinin büyük bölümünü ev, iş yeri veya okul gibi kapalı mekanlarda geçirirler; dolayısıyla bu durum insanların psikolojik ve fiziksel durumlarını doğrudan etkilemektedir. Günlük hayatta çevrede egzoz gazı, fosil kaynakların kullanımı sonucu oluşan karbonmonoksit, ozon, formaldehit tütün dumanı gibi zehirli gazlar binalardaki yüksek hava akımları ile bu kirleticilere maruziyeti artırabilir [70].

Havada bulunan mikroorganizmalar partiküllere tutunarak hareket edebilmekte ve bu sayede kendilerine yaşam alanı oluşturabilmektedir. Mevsim şartları, alanın büyüklüğü, aktivitelerin çokluğu, kişi sayısı, ağız-burun başta olmak üzere açık cilt ve saçlı deri ile hava değişim oranına bağlı olarak partikül miktarı değişebilmektedir. Partiküllerde taşınan mikroorganizmalar tüberküloz, bakteriye, viral ve cerrahi enfeksiyonlara neden olabileceği gibi, alerjen olarak rol oynayabilmekte, toksik olabilmekte ve inflamasyon reaksiyonlarına neden olabilmektedir [71].

“ISO 14644-1 Cleanrooms & Association Controlled Environment Part 1 Classification Of Air Cleanliness” standardına göre, temiz oda tanımlaması partikül sayım aleti kullanılarak bir odanın partikül seviyesinin kabul edilen standarttaki kriterlere uygun olup olmadığı 1 ft³ veya m³ içinde bulunan 0.3, 0.5, 1.0 ve 5.0 mikrometre büyüklüğündeki partiküller sayılarak gerçekleştirilen bir ölçüm sonucu yapılmıştır. Ülkemizde yürürlükte olan TS 11605 EN ISO 14644-1’e göre temiz oda partiküllerin girişi, oluşumu ve alıkonulması en aza indirilen, atmosferik şartlar bakımından kontrollü kapalı hacimlerdir. EN ISO 14644-1 tarafından toplam 9 sınıf belirlenmiştir. Bu sınıflar ve partikül çaplarına bağlı olarak kabul edilebilir konsantrasyon düzeyleri standartta yer almaktadır (Tablo 2.8).

Tablo 2.8: Temiz odaların sınıflandırılması [72].

ISO Sınıflandırma	Değerlendirmeye alınan boyutlardan daha büyük ve eşit partiküller için en yüksek konsantrasyon düzeyleri (partikül/m ³ hava)					
	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1 µm	5 µm
ISO Sınıf 1	10	2				
ISO Sınıf 2	100	24	10	4		
ISO Sınıf 3	1000	237	102	35	8	
ISO Sınıf 4	10000	2370	1020	352	83	
ISO Sınıf 5	100000	23700	10200	3520	832	29
ISO Sınıf 6	1000000	237000	102000	35200	8320	239
ISO Sınıf 7				352000	83200	2390
ISO Sınıf 8				3520000	832000	23900
ISO Sınıf 9				35200000	8320000	239000

2.4 Hava Sızdırmazlık Ölçüm Teknikleri

Bina kabuğunda hava kaçaklarının belirlenmesi gözle muayene yöntemi, ölçme aletlerinin kullanılması ve bilgisayar simülasyonları aracılığı ile saptanır.

Ölçüm teknikleri aracılığıyla mevcut binalarda hava sızıntısına neden olan bölgeler tespit edilerek onarımı veya yenilenmesi sağlanabilir; tasarım aşamasında olan binalarda ise bilgisayar simülasyon programları ile bina kabuğu sızdırmazlık performansını arttıracak düzenlemelere olanak sağlanır. Bina kabuğundaki hasarların gözle muayenesi sonucunda hava sızdırmazlık durumu ile ilgili yorum yapılabilmektedir [73].

2.4.1 BlowerDoor Test Ölçümü

BlowerDoor Test (BDT) bina kabuğundaki sızıntıları tespit etmek ve hava sızdırmazlık seviyesini belirlemek için birçok ülkede kullanılan ölçüm yöntemidir (I.S. EN 13829 (ISO 9972) Binaların Termal Performansı – Binaların Hava Geçirgenliğinin Belirlenmesi – Fan Basınçlandırma Metodu) [60]. Düzenek ortak kapı boşluklarına uyacak şekilde ayarlanabilen çerçeve, membran örtü ve bir fanın montajını kapsar, fan gerekli hava akış oranlarını karşılamak için değişken hızlı bir motora sahiptir (Resim 2.6). Ayrıca belirli basınçlar altında hava sızıntıları The Energy Conservatory (TEC) bilgisayar programı

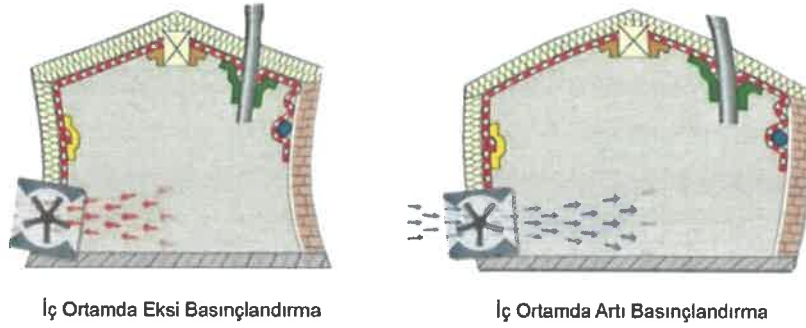
kullanılarak kayıt altına alınır [74]. Fan basıncı altında tutma deneyi (BDT), kızılötesi görüntüleme yöntemi, izleyici gaz testi ve nabız testi gibi ölçüm aletlerinin kullanımı ile desteklenebilir. Resim 2.6'da alan çalışması kapsamında ölçüm yapılan Konut 12'de TEC bilgisayar programı altında hava sızdırmazlık değerlerinin kayıt işlemi görülmektedir.



Resim 2.5: BlowerDoor ünitesi bileşenleri ve TEC programı ile ölçüm sonuçlarının kayıt altına alınması [75].

Bina kabuğundaki hava sızıntısı değerini ölçmek için ilk kez pencere açıklığına sabitlenmiş bir fan düzeniyle BlowerDoor Test yöntemi uygulanmıştır (1977-İsveç). 1979 yılında Princeton Üniversitesi'nde gerçekleştirilen BlowerDoor Testinde hava sızıntısını ölçmekle birlikte ayrıca sızıntının gerçekleştiği bölgelerin belirlenmesi ve sorunların çözümüne yönelik onarım tekniklerinin geliştirilmesi konusunda çalışmalar da yapılmıştır [74].

BlowerDoor Testi ile ölçüm yapabilmek için iç ve dış ortam arasında 50 Pa değerinde basınç farkı bulunması gerekir [48, 58, 65]. Bu basınç farkı bir fan yardımı ile iç ortama hava püskürtülerek artı basınçlandırma veya iç ortamdaki havanın yine bu fan ile çekilerek eksi basınçlandırma yöntemleri ile gerçekleştirilmektedir (Şekil 2.25). Bu ölçümlerin sonucunda $1/s$ ya da h^{-1} birimlerinde saatteki hava değişim oranı olan n_{50} değeri, binanın birim yüzeyindeki hava basıncı değeri q_{50} ve binanın birim kullanım alanına etki eden hava basıncı değeri w_{50} elde edilir.



Şekil 2.25: Fan ile iç ortamda oluşturulan eksi ve artı basınçlandırma [76].

BlowerDoor Test ile ilişkili Standartlar ISO 9972;2015 (Binaların Termal Performansı-Binaların Hava Geçirgenliğinin Belirlenmesi-Fan Basınçlandırma Yöntemi), EN-ISO-13790, EN-ISO-13829 (Binaların Termal Performansı) olup EN-ISO-13829 birçok Avrupa ülkesinde yaygın olarak kullanılır. BlowerDoor hava sızdırmazlık ölçümleri için sağlanması gereken koşullar; [77]

- 1- Ölçüm yapılacak kısımda bina kabuğundaki tüm açıklıkların (pencereler vb.) kapatılması,
- 2- Rüzgar hızının Beaufort skalasına göre < 3 olması; ya da ölçülüyor ise < 6 m/sn olması,
- 3- 500 m.K kuralına dikkat edilmesi; yani metrik cinsinden bina yüksekliği ile Santigrad cinsinden iç/dış sıcaklık farkı çarpımı sonucunun 500'den az olması,
- 4- Bina kabuğundaki açıklıkların kapalı olduğu, ancak test cihazının çalışmadığı durumda, binanın içi ve dışı arasındaki statik basınç (Sıfır Akış) farkının, 30 saniyelik bir ortalama 5 Pascal'dan (Pa) az olması,
- 5- Koşulların değişmediğinden emin olmak için bu değişkenlerin test sonrasında da kontrol edilmesi gerektiği şeklinde sıralanır.

Ayrıca test esnasında yanma cihazları, havalandırma boşlukları gibi açıklıkların kapatılması gerekmektedir.

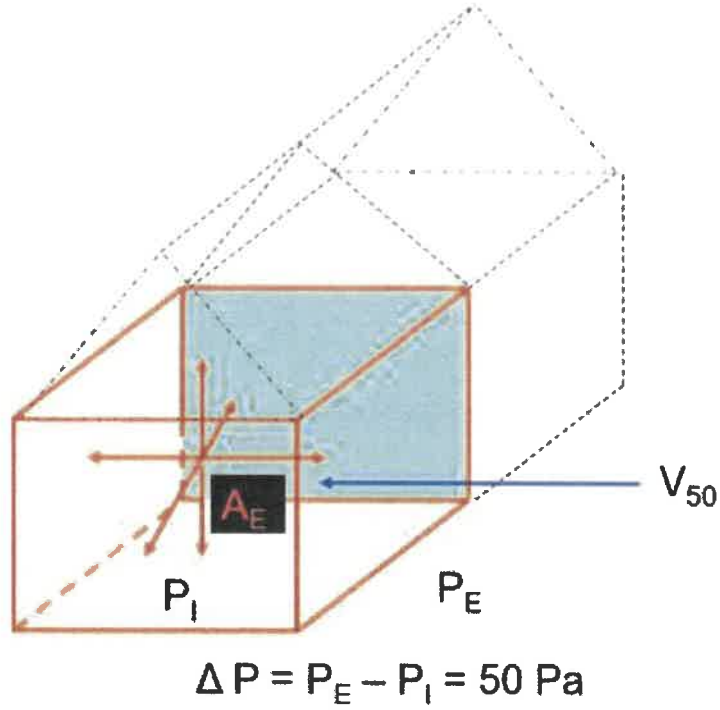
Ölçüm sırasında tespit edilen hava değişim oranı olan n_{50} (h^{-1}) değeri, hava akımının (V_{50} : m^3/h) binanın gerçek ısıtılmakta olan hacmine (V : m^3) oranıdır. Bina hava değişim oranı olan n_{50} değerini hesaplayabilmek için aşağıdaki formül kullanılır [50].

$$n_{50} = \frac{V_{50}}{V} \left[\frac{1}{h} \right]$$

50 Pa basınç altındaki hava akımının (V_{50}) bina kabuğu toplam yüzey alanı A_E ' ye bölünmesi ile bina kabuğunun birim yüzey alanı başına hava değişimi (sızıntı) elde edilir [50].

$$q_{50} = \frac{V_{50}}{A_E} \left[\frac{m^3}{h.m^2} \right]$$

Şekil 2.26'da q_{50} , V_{50} ve A_E değerlerinin perspektif üzerinden çizimi görülmektedir.



Şekil 2.26: q_{50} , V_{50} değeri görselleştirmesi.

50 Pa basınç altındaki hava akımının (V_{50}) bina taban alanına (A) bölünmesi ile birim yüzey taban alanı başına 1 saatteki hava değişimi (sızıntı) elde edilir [50].

$$w_{50} = \frac{V_{50}}{A} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h.m}^2} \right]$$

BlowerDoor test uygulaması ile toplam hava akışının tespit edilmesinin yanı sıra küçük hava sızıntıları da tespit edilebilir. İç ortam basıncının 20 ila 30 Pa arasında olması durumunda; pencere-duvar birleşim yerleri, elektrik prizleri ve tesisat geçiş noktalarından fiziksel temas ile hava sızmaları hissedilebilir. Küçük sızıntı alanlarının tespit edilmesinde duman makinesinden yararlanılır.

Ülkemizde bina kabuğu hava sızdırmazlık düzeyine ilişkin sınır değerler TS 825 Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları Standardında yer almaktadır. Tablo 2.9'da görüldüğü üzere bina kabuğu hava değişim oranına göre bina kabuğu sızdırmazlık durumu katta tek daireli ve katta çok daireli binalar olmak üzere sınıflandırılmıştır ve buna göre bina kabuğu hava sızdırmazlık durumu “düşük”, “orta” ve “yüksek” olarak değerlendirilir [78].

Tablo 2.9: TS 825 Standardına göre 50 Pa basınç farkında hava değişim oranı (n_{50}) sınır değerleri [78].

Katta çok dairesel binalar	Katta tek dairesel binalar	Bina kabuğunun sızdırmazlık durumu
$n_{50} < 2$	$n_{50} < 4$	Yüksek
$2 \leq n_{50} \leq 5$	$4 \leq n_{50} \leq 10$	Orta
$5 < n_{50}$	$10 < n_{50}$	Düşük

Şekil 2.27'deki BlowerDoor Testi sonucunda görüldüğü üzere alan çalışmasında incelenen Konut 34'e ait hava sızdırmazlık değerleri n_{50} : 9,94, q_{50} : 4,56 ve w_{50} : 24,85 olarak ölçülmüştür.

Date of Test: 15.11.2019
Test File: doğukan cur

Technician:
Project Number: doğukan ev

Customer:

Building Address:

Test Results at 50 Pascals:

V50: m³/h Airflow 719 (+/- 0.5 %)
n50: 1/h (Air Change Rate) 9.94
w50: m³/(h·m² Floor Area) 24.85
q50: m³/(h·m² Envelope Area) 4.56

Leakage Areas: 343.2 cm² (+/- 1.2 %) Canadian EqLA @ 10 Pa or 2.18 cm²/m² Surface Area
204.4 cm² (+/- 2.0 %) LBL ELA @ 4 Pa or 1.30 cm²/m² Surface Area

Building Leakage Curve:

Air Flow Coefficient (C_{env}) = 91.3 m³/(h·Paⁿ) (+/- 3.2 %)
Air Leakage Coefficient (CL) = 91.3 m³/(h·Paⁿ) (+/- 3.2 %)
Exponent (n) = 0.528 (+/- 0.009)
Correlation Coefficient = 0.99982

Test Standard:

EN 13829

Test Mode:

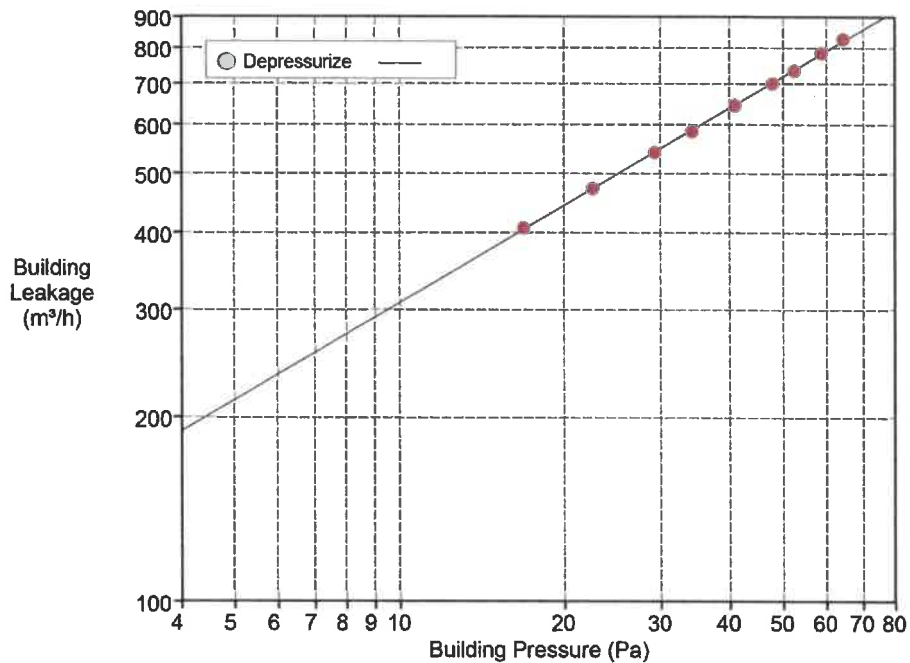
Depressurization

Type of Test Method:

A

Regulation complied with:

n50 ≤ 1.5 1/h



BUILDING LEAKAGE TEST Page 2 of 4

Date of Test: 15.11.2019 Test File: doğukan cur

Building Information

Volume (m³)	72.36
Surface Area: (m²)	157.72
Floor Area: (m²)	28.95
Height (m)	2.5
Uncertainty of Dimensions (%)	6
Year of Construction	
Type of Heating	
Type of Air Conditioning	
Type of Ventilation	None
Building Wind Exposure	Partly Exposed Building
Wind Class	Light Air

Equipment Information

Type	Manufacturer	Model	Serial Number	Custom Calibration Date
Fan	Energy Conservatory	Model 4 (230V)		-
Micromanometer	Energy Conservatory	DG700	63745-107	27/12/2016

BUILDING LEAKAGE TEST Page 3 of 4

Date of Test: 15.11.2019 Test File: doğukan cur

Depressurization Test:

Environmental Data

Indoor Temperature (°C)	Outdoor Temperature (°C)	Barometric Pressure (Pa)
24.0	20.0	101325.0

Pre-Test

Baseline Pressure Data

Post-Test

$\Delta p_{0,1-}$	$\Delta p_{0,1+}$	$\Delta p_{0,1}$	$\Delta p_{0,2-}$	$\Delta p_{0,2+}$	$\Delta p_{0,2}$
0.0	0.6	0.6	-0.1	0.1	0.1

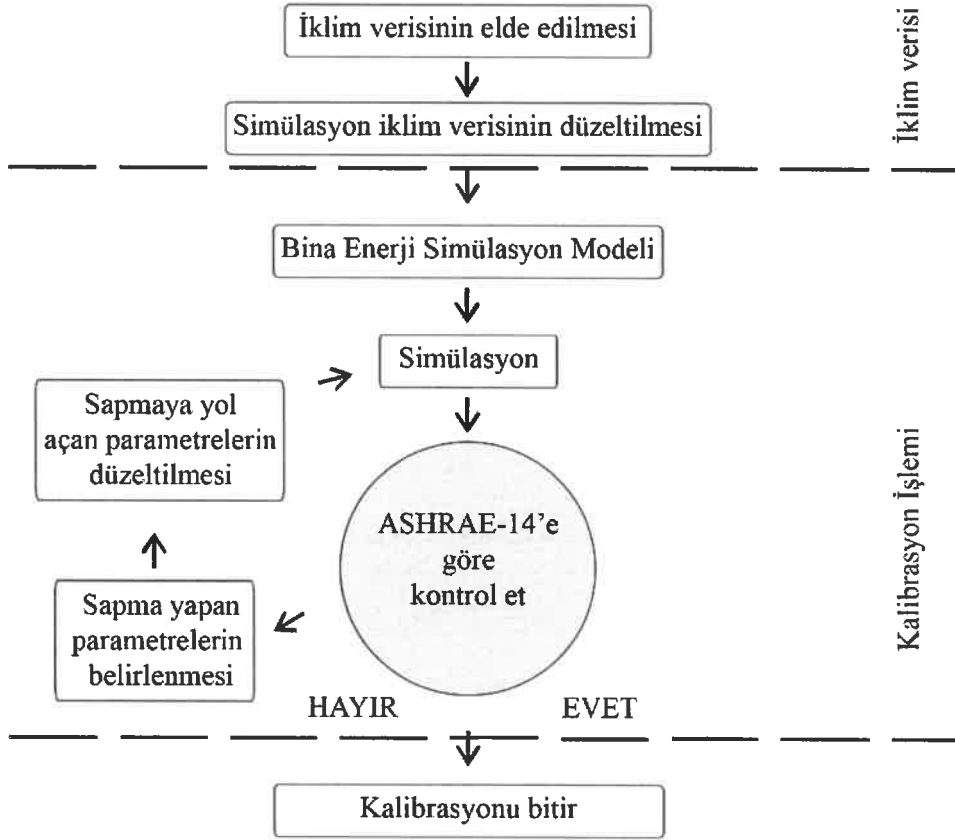
Data Points

Nominal Building Pressure (Pa)	Baseline Adjusted Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m³/h)	Adjusted Flow (m³/h)	% Error	Fan Configuration
0.6	n/a	n/a				
-64.1	-64.5	107.6	835	829	0.8	Ring B
-58.5	-58.9	96.7	791	786	0.3	Ring B
-52.2	-52.5	84.6	741	736	-0.3	Ring B
-47.5	-47.9	76.7	706	701	-0.3	Ring B
-40.6	-41.0	64.9	649	645	-0.4	Ring B
-33.9	-34.2	53.5	590	586	-0.5	Ring B
-28.9	-29.3	45.5	545	541	-0.2	Ring B
-22.2	-22.5	34.7	476	473	0.1	Ring B
-16.5	-16.9	25.7	410	407	0.5	Ring B
0.1	n/a	n/a				

Şekil 2.27: BlowerDoor Test ölçümü – Konut 34.

2.4.2 Hava Sızdırmazlık Simülasyonları

Bina kabuğunun mevcut durumda veya belirli koşullar altında hava sızdırmazlık durumunu incelemek ve bina kabuğunda yapılacak değişiklik önerilerinin hava sızdırmazlık performansını nasıl etkileyeceğini değerlendirmek amacıyla hava sızdırmazlık simülasyon programları kullanılır. Simülasyon araçları ile yapılan modellerde gerçeğe yakın sonuçlar elde edilebilmesi için kalibrasyon yapılması gerekmektedir [4]. Şekil 2.28’de kalibrasyon metodolojisi görülmektedir. Bina kabuğundaki olası hava sızıntılarını tespit edebilmek için simülasyon yazılımları aracılığıyla bina enerji performansı da hesaplanabilir. Hava sızdırmazlık simülasyonları için yaygın olarak EnergyPlus, DesignBuilder, TRYSYS, BLAST, DOE-2, WUFI, IDA-ICE, CONTAM, COMIS, AccuRate, ESP-r, ANSYS-Fluent, Autodesk-CFD ve BIM yazılımları kullanılmaktadır [4].



Şekil 2.28: Kalibrasyon metodolojisi [78].

Hava sızdırmazlık simülasyonlarında sonucu etkileyen 3 temel veri mevcuttur. Bunlar; iklimsel girdiler, çevresel girdiler ve binaya ait verilerdir. İklimsel veriler yapının bulunduğu bölgedeki rüzgar etkisi, iç ortam ve dış ortam sıcaklığı ve bağıl nemdir. Çevresel veriler binanın deniz seviyesinden yüksekliği, binanın çevresinde güneşlenmeye engel olacak

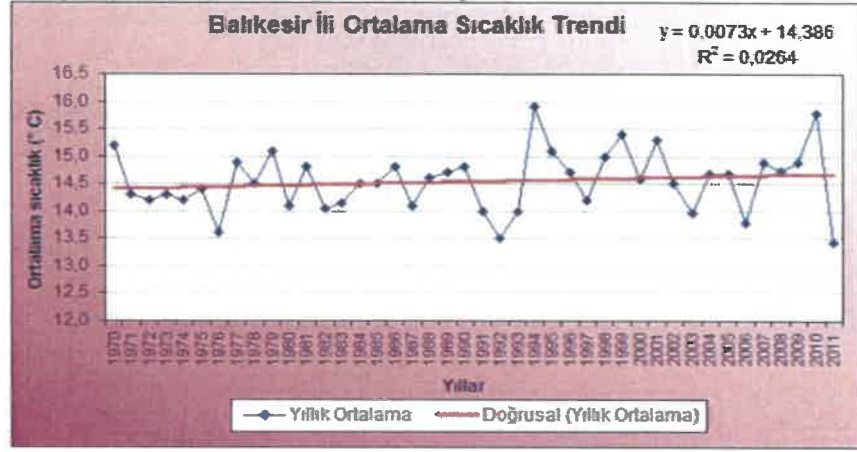
faktörler, binanın yönlendirilişi ve nizam durumudur. Binaya ait girdiler ise binanın kat sayısı, kat yüksekliği, bina kabuğuna ait yapı elemanları gibi binaya özel bilgilerdir. Simülasyon sonucunda elde edilen verilerin gerçeğe yakın değerler olabilmesi içi girdilerin doğru ve eksiksiz bir şekilde modele işlenmesi gerekmektedir.

İzmir İlinde konut örnekleme üzerinde yapılan bir çalışmada EnergyPlus programı kullanılarak konut modellenmiş ve aynı zamanda hava sızdırmazlık değeri fan basınçlandırma yöntemi olan BlowerDoor Test metodu ile ölçölüp yapı kabuğunda hava sızıntılarının meydana geldiği yerler termal kamera yoluyla belirlenmiştir. Konutun bina enerji modeli konutun aylık enerji tüketim değerleri ve iç ortam sıcaklığı ile kalibre edilmiştir. Tespit edilen hava sızdırmazlık değerinin $0,5 \text{ h}^{-1}$ kadar iyileştirilmesinin konutun bir yılda ısıtma enerjisi tüketimine etkisi EnergyPlus programı ile belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre hava sızdırmazlık değerindeki iyileştirme ile yıllık enerji tüketiminde %3'lük, ısı yalıtımı yapılması durumunda ise %13'lük bir azalma sağlanacağı belirtilmiştir [79].

Bir başka alışma Kıbrıs'ta yer alan müstakil konutlar örnekleme üzerinde yapılmış olup Bina Bilgi Modellemesi kullanılarak konutların simölasyonu sonucu hava sızdırmazlık değerleri, binaların yalıtımlı olmasına karşın "düşük" düzeyde olduğu tespit edilmiştir. Bunun sebebi ise işçilik kalitesinin yeterli olmaması olarak yorumlanmıştır. Ayrıca yalıtılmış konutlarda hava değişim oranının 0,25 olduğu, yalıtım uygulanmayan konutlarda ise bu değerin 2,5 olduğu tespit edilmiş olup yalıtım uygulamasının konutlarda yıllık enerji tüketimini önemli oranda etkilediği vurgulanmıştır [80].

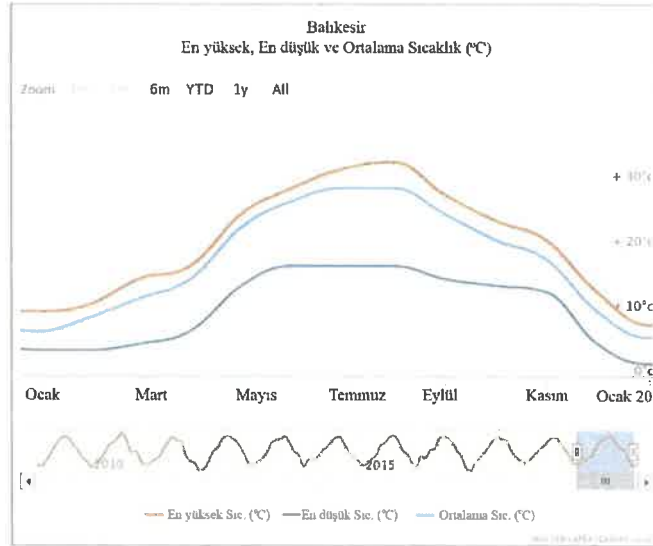
Edirne İli kapsamında yapılan bir diğer çalışmada Energy Plus programı kullanılmış olup örnekleme olarak ele alınan yalıtımsız bir konutun hava sızdırmazlık değerleri 0,5, 0,7 ve 1,0 ac/h olarak alındığında ısıtma yükü sırasıyla 88, 70 ve 58 kWh/m².yıl olarak hesaplanmıştır. Konutun ısı yalıtımlı olması durumunda ise hava sızdırmazlık düzeyinin 0,5, 0,7 ve 1,00 ac/h değerlerine göre yıllık ısıtma yükleri 30, 25 ve 20 kWh/m².yıl olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak yalıtımlı ve yalıtımsız binada hava sızdırmazlık değerleri aynı olsa da ısı yalıtımına sahip binada ısıtma yükünün daha az olduğu belirlenmiştir [81].

göre Balıkesir'in ortalama sıcaklığı 14,5°C' dir ve sıcaklık artış trendine sahiptir (Şekil 3.3). Günümüze dek ölçülen en yüksek sıcaklık 43,7 °C, en düşük sıcaklık ise -21,8°C'dir [83].



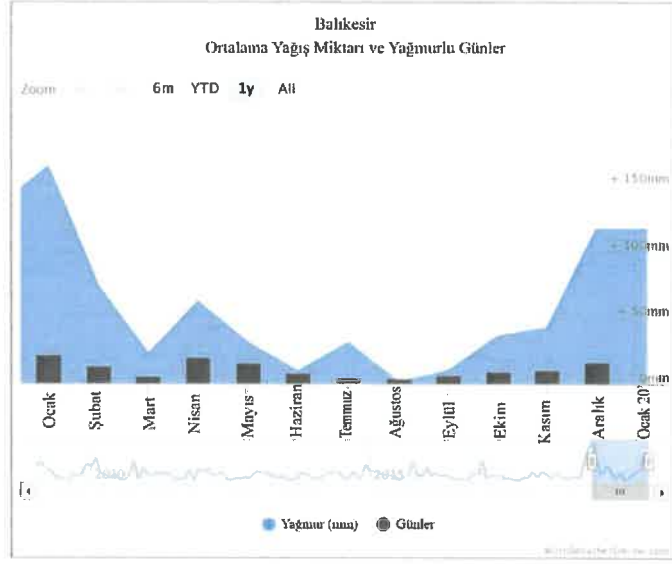
Şekil 3.3: Balıkesir İli yıllık ortalama sıcaklık zaman serisi ve trendi [84].

Şekil 3.4'de Balıkesir İlinin 2019 yılına ait sıcaklık verileri görülmektedir; aylık ortalama en yüksek sıcaklık değeri 29 °C ile temmuz ve ağustos aylarına ait iken aralık ve ocak ayı 8 °C ile aylık ortalama en düşük sıcaklık değerine sahiptir.



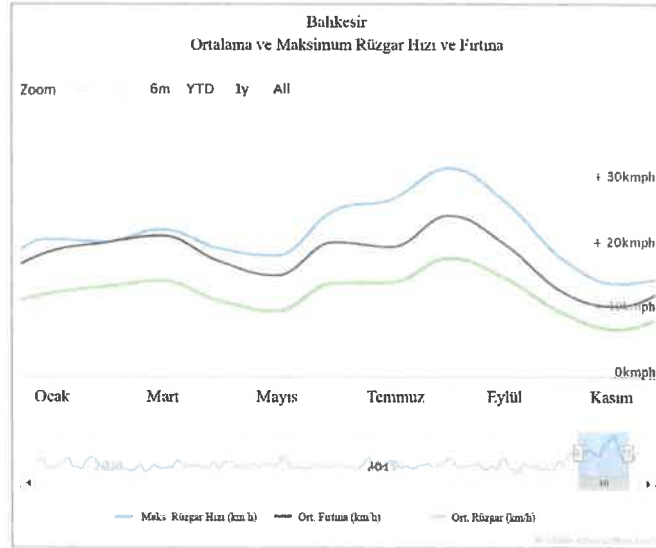
Şekil 3.4: Balıkesir İli 2019 yılı sıcaklık değerleri [84].

Balıkesir İlinde genelde kış ayları daha yağışlı geçer; 2019 yılı verilerine göre temmuz en kurak ay, aralık ise en yağışlı aydır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5: Balıkesir İli 2019 yılı aylık ortalama yağış miktarı [84].

2019 yılı aylık maksimum ve ortalama rüzgâr hızları Şekil 3.6'da yer almaktadır. Buna göre aylık maksimum rüzgâr hızları arasında ağustos ayı 29 km/h ile en yüksek, aralık ayı 15,6 km/h ile en düşük değerdedir. Aylık ortalama rüzgâr hızlarına bakıldığında ise 18 km/h ile ağustos ayı en yüksek, 10,1 km/h ile nisan ayı en düşük rüzgâr hızına sahiptir. Yılda ortalama 12,55 km/h hız ile rüzgâr esmektedir.



Şekil 3.6: Balıkesir İli 2019 yılı aylık rüzgâr hızı [84].

Balıkesir'in hâkim rüzgâr yönü kuzey, mevsimsel değişimlere bağlı olarak ikincil derece hâkim rüzgâr yönü kuzey-kuzeydoğudur (Şekil 3.7) [83].



Şekil 3.8: Balıkesir kent merkezinde incelenen konutların konumları.

Ölçüm yapılan konutların genel özellikleri ve yakın çevresi ile ilişkilerinin sorgulandığı form Tablo 3.1’de özetlenmiştir. Formun A.1 bölümünde binanın konumu, bulunduğu iklim bölgesi verileri, deniz seviyesinden yüksekliği, binayı etkileyen hakim rüzgar yönü, cephelerde güneşlenmeyi ve rüzgar etkisini engelleyen çevresel etkenler kaydedilmiştir.

A.2 bölümünde ise incelenen binanın nizam durumu, binanın yaşı, taşıyıcı sistem türü, ısıtma sistemi ve kat sayısı gibi binaya ait bilgiler yer almaktadır.

Ayrıca hava sızdırmazlık konusunda etkili olan binada kullanılan duvar malzemeleri, pencere/kapı doğramaları, binanın kullanım alanı ve ısı yalıtım durumuna ilişkin ilgili ayrıntılı bilgilere yer verilmiştir.

Tablo 3.1: Alan çalışması için oluşturulan kriter listesi.

ALAN ÇALIŞMASI İÇİN OLUŞTURULAN KRİTER LİSTESİ	
A. İncelenen Binanın Özellikleri	C. Binanın Kullanım Alanı:
A1. Binanın Yakın Çevresi İle İlgili Bilgiler Konum: İklim Bilgisi: Rakım: Hakim Rüzgar Yönü: Rüzgara ve Güneşlenmeye Engel Çevresel Etmenler Var mı?:	Binanın Kullanım Alanı: m2 50m2'den küçük 50m2 ile 100 m2 arasında 100 m2'den büyük
A2. İncelenen Bina İle İlgili Genel Bilgiler Adres: İl/ilçe: Yapı Tipi: Nizam Durumu: Binanın Yapım Yılı: Taşıyıcı Sistem: Isıtma Sistemi: Kat Sayısı: Katta Olan Daire Sayısı:	D. Binanın Isı Yalıtımı Binada Isı Yalıtımı Var mı: Kullanılan Isı Yalıtım Malzemesi:
B. Binanın Malzemeleri İle İlgili Bilgiler	E. Isıtma Sistemi Isıtmada Kullanılan Enerji Hammaddesi: Isıtma Sistemi:
B1. Binanın Duvarları İle İlgili Bilgiler Kullanılan Duvar Malzemesi: Dış Duvarların Bulunduğu Cepheler: Isı Yalıtımı:	
B2. Binanın Pencere ve Kapıları İle İlgili Bilgiler Doğrama Türü: Cam Kalınlığı: Doğramanın Duvar İçindeki Konumu: İçeride/Ortada/Dışarıda	

Alan çalışmasında incelenen konutlara ilişkin yapım yılı, konut yönü ve cephe sayısı, taban alanı, duvar malzemesi, bina yalıtım durumu, doğrama malzemesi-cam tipi, ısıtma sistemi ve BlowerDoor ölçüm sonuçları verilmiştir (Tablo3.2) .

Tablo 3.2: Konutlara ilişkin özellikler ve ölçülen n₅₀ değerleri.

Konut	Yapım Yılı	Cephe Sayısı-Saydam/Opak Yüzey Oranı	Konut A/V Oranı	Konut Taban Alanı m ²	Duvar Malzemesi	Duvar Yalıtımı	Doğrama Cam Tipi-Çift Cam	Isıtma Sistemi	Bina Hava Sızdırmazlık Değeri n ₅₀ (1/h)
1	1993	2-0,33	0,38	79,15	Hafif Beton	Yok	PVC	Doğalgaz	1,94
2	1993	2-0,32	0,38	74,15	Hafif Beton	Yok	PVC	Doğalgaz	2,18
3	1997	2-0,35	0,37	125,04	Hafif Beton	Yok	PVC	Doğalgaz	2,47
4	1993	2-0,37	0,38	64,81	Hafif Beton	Yok	PVC	Doğalgaz	2,96
5 M. Ev	2017	4-0,16	0,38	104,00	Tuğla	Yok	PVC	Soba	2,99
6	2005	3-0,40	0,38	105,81	Tuğla	XPS	PVC	Doğalgaz	3,05
7 M. Ev	2014	4-0,14	0,38	116,19	Tuğla	Yok	PVC	Soba	3,13
8 M. Ev	2017	4-0,16	0,38	90,30	Tuğla	Yok	PVC	Soba	3,16
9 M. Ev	2013	4-0,13	0,38	103,19	Tuğla	Yok	PVC	Soba	3,46
10 M. Ev	2006	4-0,15	0,38	99,32	Tuğla	Yok	PVC	Soba	3,65
11 M. Ev	2010	4-0,16	0,38	88,35	Tuğla	Yok	PVC	Soba	4,05
12	2014	2-0,44	0,38	65,25	Tuğla	XPS	PVC	Doğalgaz	4,08
13	2013	1-0,51	0,20	39,22	Tuğla	XPS	Alüminyum	Doğalgaz	4,12
14	2002	1-0,45	0,37	90,44	Tuğla	XPS	PVC	Doğalgaz	4,16
15	2014	2-0,48	0,38	59,32	Tuğla	XPS	PVC	Doğalgaz	4,35
16	2010	3-0,35	0,38	91,58	Tuğla	XPS	PVC	Doğalgaz	4,42
17	2011	1-0,50	0,37	90,44	Tuğla	XPS	PVC	Doğalgaz	4,50
18	2018	2-0,44	0,38	74,18	Tuğla	XPS	PVC	Doğalgaz	4,82
19	2009	1-0,65	0,38	71,10	Tuğla	XPS	PVC	Doğalgaz	5,42
20	2004	2-0,55	0,38	71,93	Hafif Beton	XPS	PVC	Doğalgaz	5,47
21	2003	3-0,43	0,38	91,58	Tuğla	Yok	PVC	Doğalgaz	5,67
22	2005	3-0,40	0,38	66,72	Tuğla	XPS	PVC	Doğalgaz	6,11
23	2007	2-0,50	0,38	62,65	Hafif Beton	Yok	PVC	Doğalgaz	6,30
24	2012	2-0,48	0,38	56,49	Tuğla	XPS	PVC	Doğalgaz	6,86
25	2005	2-0,52	0,38	59,90	Tuğla	Yok	PVC	Doğalgaz	6,89
26	2016	2-0,65	0,38	53,30	Tuğla	XPS	PVC	Doğalgaz	7,40
27	2013	1-0,70	0,38	50,80	Tuğla	XPS	PVC	Doğalgaz	7,56
28	2017	1-0,70	0,40	31,73	Tuğla	XPS	Silikon Cam Cephe	Doğalgaz	8,59
29	2015	2-0,65	0,38	44,25	Tuğla	XPS	PVC	Doğalgaz	8,79
30	2012	2-0,70	0,38	44,23	Tuğla	XPS	PVC	Doğalgaz	8,85
31	2013	2-0,68	0,40	34,22	Tuğla	XPS	Alüminyum	Doğalgaz	9,48
32	2018	2-0,50	0,38	89,70	Tuğla	XPS	PVC	Doğalgaz	9,54

Tablo 3.2 (devam)

33	2017	2- 0,85	0,40	45,49	Tuğla	XPS	Silikon Cam Cephe	Doğalgaz	9.88
34	2016	1- 0,71	0,40	28,95	Tuğla	XPS	PVC	Doğalgaz	9.94
35	2015	2- 0,56	0,38	39,00	Tuğla	XPS	PVC	Doğalgaz	10.53
36	1993	2- 0,70	0,37	47,18	Hafif Beton	Var	Alüminyum tek cam	Doğalgaz	12.46
37	2009	2- 0,64	0,40	29,70	Tuğla	XPS	Alüminyum	Doğalgaz	13.48
38	2017	1- 0,70	0,38	43,79	Tuğla	XPS	Alüminyum	Doğalgaz	19.24
39	2015	1- 0,60	0,38	39,26	Tuğla	XPS	Alüminyum	Doğalgaz	21.99
40	2008	1- 0,50	0,38	37,25	Tuğla	XPS	Alüminyum	Doğalgaz	22.80
41	1995	2- 0,67	0,38	61,09	Tuğla	Yok	Ahşap tek cam	Doğalgaz	25.23
42	2013	2- 0,45	0,47	28,01	Tuğla	XPS	Alüminyum	Doğalgaz	33.18
43	1996	4- 0,70	0,47	46,61	Tuğla	Yok	Ahşap tek cam	Doğalgaz	49.02
44	1995	2- 0,65	0,45	43,59	Tuğla	Yok	Ahşap tek cam	Doğalgaz	87.87

BlowerDoor Test ölçümü yapılan konutlar 1990-2020 yılları arasında inşa edilmiş olup konutların tümü betonarme karkas taşıyıcı sisteme sahiptir ve dış duvar kuruluşlarında tuğla veya hafif beton malzeme kullanılmıştır. Konutların büyük bir çoğunluğunda PVC doğrama mevcut olup alüminyum doğrama, ahşap doğrama ve silikon cam cephe kullanılan örnekler de vardır. Isıtma sistemine ilişkin olarak kent merkezindeki konutlarda kombi (doğalgaz), kırsaldaki konutlarda soba (kömür) kullanılmaktadır.

3.3 Araştırma Yöntemi

3.3.1 Varyans Analizi (ANOVA Test) Yöntemi

İstatistik bilim dalında, 1920'li-1930'lu yıllarda İngiliz istatistikçi Ronald Fisher tarafından geliştirilen, grup ortalamaları ve bunlara bağlı olan işlemleri analiz etmek için kullanılan istatistiksel hipotez sınama şekline varyans analizi denir [85]. Karşılaştırılması yapılacak grupların sayısı ikiden fazla ise gruplar arasındaki farkın belirmesinde varyans analizi (ANOVA) kullanılabilir [86]. Ancak varyans analizinin yapılabilmesi için homojenlik, normallik ve toplanabilirlik gibi varsayımlar gerekmektedir [87]. Parametrik bir test istatistiği olan ANOVA ile gruplar arasındaki farkın manidarlığı incelenmekte olup toplanabilirlik özelliği ile kuadratik bir form niteliği taşımaktadır [86].

$$\left(\sum_{i=1}^{nj} (X_{ij} - \bar{X})^2, \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{nj} (X_{ij} - \bar{X})^2 \right)$$

Varyans analizi birçok istatistiksel yöntemi içinde bulunduran yöntemler topluluğu olup bu analiz yönteminin en basit formu tek yönlü varyans analizidir (One-Way ANOVA). Varyans analizi gruplar arasında bir farkın olup olmadığının tespit edilmesinde kullanılır, ancak farklılığın hangi gruplardan kaynaklandığını araştırmamaktadır. Gruplar arasında fark olduğunda ise bu farklılığın hangi gruplardan kaynaklandığını Post-Hoc istatistik tespit etmektedir [88].

ANOVA testinin uygulanabilmesi için gerekli ön şartlar;

- Verilerin her grupta normal dağılıma sahip olması,
- Gruplardan elde edilen varyansların birbirine eşit olması,
- Farklı gruplardaki bireylerin birbirinden farklı ve rastgele seçilmiş olması,
- Aynı grup içindeki bireylerin birbirinden bağımsız ve rastgele seçilmiş olmasıdır [89].

ANOVA test sonucunun anlamlı çıkmaması durumunda işlem sonlandırılır. Sonuç anlamlı bulunduğu durumda ise farklılıkların hangi gruplar arasında olduğunu post-hoc tekniklerle hesaplamak gerekir. Çok sayıda Post-Hoc tekniği vardır; hangisinin kullanılacağına karar verilirken varyansların homojenliği belirleyici etmendir [90]. Varyansların eşit olması durumunda “çoklu karşılaştırma testleri” ve “çoklu aralık testleri” olan Post Hoc testleri kullanılmaktadır. Çoklu aralık testleri, grup ortalamalarına ilişkin homojen alt setler oluşturarak gruplardan farklı olanı seçmeye çalışırken çoklu karşılaştırma testleri ise her grubu sırayla diğer gruplarla tek tek kıyaslar. Varyansların eşit olması durumunda LSD (Least Significant Difference), Sidak, Bonferroni, Tukey, Hochberg’s GT2, Gabriel ve Scheffe karşılaştırma testleri kullanılabilirken varyansların eşit olmadığı durumlarda ise Games-Howell, Tamhane’s T2, Tamhane’s T3, Dunnet’s C ve Dunnett’s T3 kullanılabilir [88].

ANOVA test yöntemi çoğunlukla SPSS programı aracılığı ile yapılmaktadır. İlk olarak 1968 yılında kullanılmaya başlanan SPSS bilgisayar programı özellikle Sosyal Bilimler alanında istatistiksel analiz için kullanılır. SPSS programında istatistiksel analizin yanında veri yönetimi ve dokümantasyonun yapılması bu yazılımın önemli özelliklerindedir [91].

Bu tez çalışmasında konutların yaşı, doğrama tipi, ısı yalıtım durumu, kullanım alanı büyüklüğü, duvar malzemesi ve cephe sayısı gibi parametrelerin hava sızdırmazlığa etki dereceleri SPSS paket programı aracılığıyla varyans analizi yöntemiyle saptanmıştır.

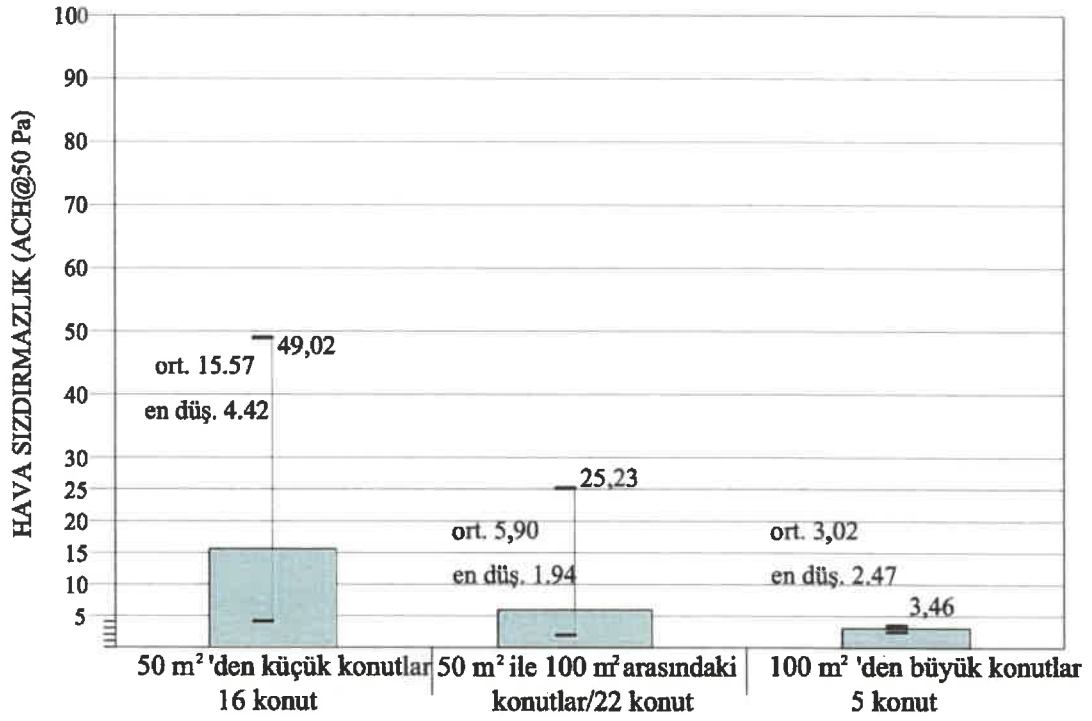
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bina enerji verimliliği ve iç mekan konforunda etkili olan bina kabuğu hava sızdırmazlığı, Balıkesir ilinde kentsel ve kırsal alanda rastgele seçilen 44 konutta Blower Door Test ile ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar belirlenen parametrelere göre değerlendirilmiş ve AB ülkeleri standart değerleri ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada ölçümlerin konut içinde yapılmasından dolayı kullanıcılardan izin alınmasının gerekliliği ve farklı geometriye sahip kapı açıklıkları, yetersiz kasa genişlikleri, eğrisel hatlar ve aşırı kapı yükseklikleri gibi etmenler alan çalışmasının kısıtlarıdır. Ölçümler, BlowerDoor Test ünitesinin konutun dış kapısına monte edilmesi (yaklaşık 45-60 dk.) ve fan basınçlandırma test (15–20 dk.) değerlerinin kaydedilmesi şeklinde gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde konut alanı ya da hacmin büyüklüğüne bağlı olarak istenen 50 Pascal basınç farkı yaratılabilmesi için sistemde bulunan farklı havalandırma kapakları kullanılmaktadır; alan çalışmasında genelde B tipi olmak üzere konut büyüklüğüne bağlı olarak C tipi kapak da kullanılmıştır.

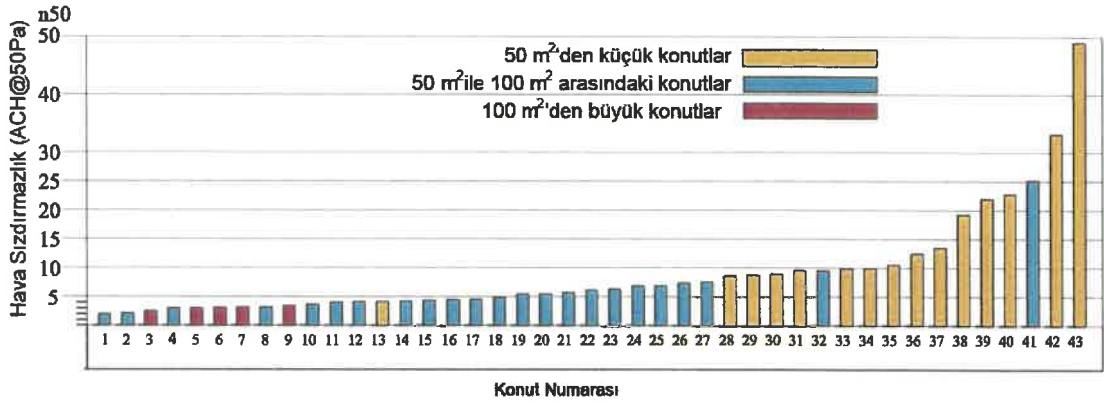
Sonuç olarak BlowerDoor ölçümleri ile konutlarda iç ve dış ortam arasında 50 Pascal basınç farkı altında (n_{50}) hava değişim oranları, ($q_{50}:m^3/(m^2.h)$) birim bina kabuğu yüzey alanı başına ve ($w_{50}:m^3/(m^2.h)$) birim taban alanı başına hava değişim değerleri elde edilmiştir.

Ölçümlerin Değerlendirilmesi;

Alan çalışmasında ölçüm yapılan farklı kullanım alanı büyüklüğüne sahip konutların hava değişim oranı (n_{50}) ortalama değerleri Şekil 4.1’de verilmektedir. Kullanım alanı $50 m^2$ ’den küçük olan konutların n_{50} değeri en düşük $4,12 h^{-1}$ en yüksek ise $49,02 h^{-1}$ olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlara göre sadece Konut 13; $4,12 h^{-1}$ n_{50} ile TS 825’e göre $2 < n_{50} < 5$ (katta çok dairesli) olduğundan “orta” düzeyde hava sızdırmazlık performansı sergilerken, kullanım alanı $< 50 m^2$ olan 15 konut ise $8,59 - 49,02 h^{-1}$ değerleri ile $n_{50} > 5$ (katta çok dairesli) olduğundan “düşük” düzeyde performans göstermektedir. Çatı arasında bulunan bir konutta hava değişim oranı $87,87 h^{-1}$ olarak ölçülmüştür, ancak bu değer istatistiksel hesaplamalara katılmamıştır. Kullanım alanı $50 m^2$ ila $100 m^2$ arasında yer alan konutlarda ise hava değişim oranı değerleri $1,94 - 25,23 h^{-1}$ arasında tespit edilmiştir. $50-100 m^2$ büyüklüğe sahip konutlardan sadece Konut 1, $n_{50} < 2$ (katta çok dairesli) olduğundan “yüksek” düzeyde ve müstakil olan Konut 8 ve Konut 10 $3,16$ ve $3,65 h^{-1}$ değerleri ile $n_{50} < 2$ (katta tek dairesli) olduğundan “yüksek” düzeyde hava sızdırmazlık performansı göstermektedir. 8 apartman tipi konut ise n_{50} değeri $2 < n_{50} < 5$ “orta” düzeyde ve 1 müstakil konut $4,05 h^{-1}$ n_{50} ile $4 < n_{50} < 10$ “orta” düzeyde hava sızdırmazlık performansı göstermektedir ($2,18 - 4,82 h^{-1}$). 10 konutun n_{50} değerleri $5 < n_{50}$ olduğundan “düşük” düzeyde hava sızdırmazlık performansı saptanmıştır ($5,47 - 25,23 h^{-1}$). Ölçüm yapılan $100 m^2$ ’den büyük 2 apartman tipi konutta hava sızdırmazlık değerleri $2,47 h^{-1}$ ve $3,05 h^{-1}$ olarak elde edilmiştir ve n_{50} değerleri $2 < n_{50} < 5$ (katta çok dairesli) olduğundan dolayı bu iki konutun “orta” düzeyde sızdırmazlık performansına sahiptir. Müstakil olan 3 konutta ise $2,99 - 3,46 h^{-1}$ n_{50} değerleri ile $n_{50} < 4$ olduğundan “yüksek” düzeyde hava sızdırmazlık performansı sergilediği görülmüştür. Şekil 4.1’de kent merkezindeki konutlara ait en düşük ve ortalama n_{50} değerleri yer almaktayken şekil 4.2’de kullanım alanı büyüklüklerine göre BlowerDoor testi yapılan tüm konutların n_{50} hava değişim oranları görülmektedir.



Şekil 4.1: Ölçüm yapılan konutların kullanım alanı büyüklüğüne göre en düşük ve ortalama n₅₀ değerleri.



Şekil 4.2: Konutların kullanım alanı büyüklüklerine göre hava değişim oranı (n₅₀) değerleri.

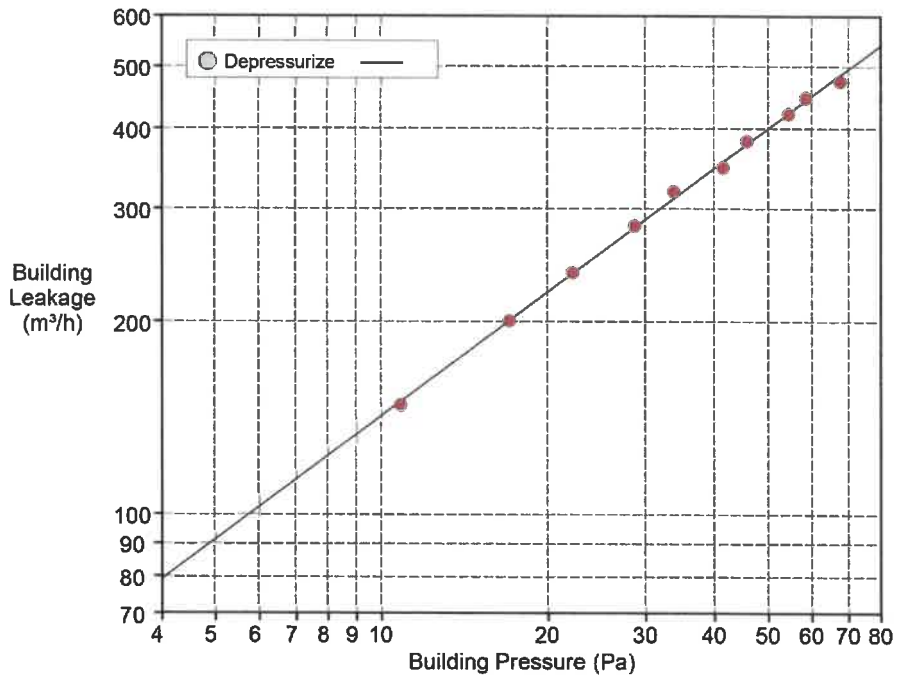
Tablo 4.1: Ölçüm yapılan konutların kullanım alanlarına göre hava sızdırmazlık değerleri.

KULLANIM ALANI m ²	EN DÜŞÜK n ₅₀	ORTALAMA n ₅₀	EN YÜKSEK n ₅₀	CEPHE SAYISI	
				En düşük n ₅₀	En yüksek n ₅₀
<50 m ²	4,12	15,58	49,02	1	4
50 m ² -100 m ²	1,94	6,26	25,23	2	2
>100 m ²	2,47	2,76	3,05	2	3

Kullanım alanı $<50 \text{ m}^2$ olan Konut 1, $1,94 \text{ h}^{-1}$ değeri ile bu grupta en düşük hava değişim oranına sahiptir (Şekil 4.3). Bu konutta hava sızdırmazlık değeri (m^2 birim taban alanı) $w_{50}:5,05 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$ ve (m^2 birim bina kabuğu alanı) $q_{50}:1,03 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$ olarak saptanmıştır. Söz konusu konut bitişik nizam düzeninde ve rüzgara karşı korunaklı olup dış duvar kuruluşunda çift sıra hafif beton malzemesi ve pencerelerde PVC doğrama (çift cam) kullanılmıştır. 1993 yılında inşa edilen yapı “yüksek” düzeyde bina kabuğu sızdırmazlık performansına sahiptir; burada binanın cephe sayısı, bina kabuğu kuruluşu ve malzemeleri yanı sıra gözleme dayanarak işçilik kalitesinin de etkili olduğu düşünülmektedir. Alanyazın çalışmasında da görüldüğü üzere Danimarka’da 1880 ila 2007 yılları arasında yapılmış olan 16 müstakil evde yapılan ölçümler sonucunda 1880-1999 yılları arasında inşa edilmiş konutlarda hava değişim oranı (n_{50}) değerleri $1,8 - 4,9 \text{ h}^{-1}$ arasında iken 2005-2007 yılları arasında inşa edilen konutlarda ise $1,1 - 1,3 \text{ h}^{-1}$ arasında elde edilmiş olup yapım yılı eski olan konutların hava sızdırmazlık performanslarının beklenenden daha iyi olduğu görülmüştür [92]. Enerji etkin konutlarda n_{50} değeri $1,0 \text{ h}^{-1}$, pasif evlerde ise $<0,6 \text{ h}^{-1}$ değeri ile sınırlandırılmıştır [50]. Uygulamalarda hava sızdırmazlığının sağlanmasına ilişkin olarak işçilikten kaynaklı olası sorunların ortadan kaldırılabilmesi için detayların olabildiğince basit, yalın olmasına özen gösterilmesinin önemi vurgulanmaktadır [50]. Hollanda’da bir yüklenicinin farklı inşaat ekipleri tarafından inşa edilen 44 müstakil konutta yapılan ölçümlerde, BlowerDoor hava değişim oranlarının standart sapması $1,137$ olarak hesaplanmıştır. Çalışmada aynı firmaya ait binalarda farklı inşaat ekiplerinin işçilik kalitesinin hava sızdırmazlığa olan etkisine dikkat çekilmektedir [93].



Date of Test: 23.11.2019	Technician: serhan resul
Test File: Untitled	Project Number: birlik apt daire 3
Customer:	Building Address:
Test Results at 50 Pascals:	
V50: m³/h Airflow	400 (+/- 1.5 %)
n50: 1/h (Air Change Rate)	1.94
w50: m³/(h·m² Floor Area)	5.05
q50: m³/(h·m² Envelope Area)	1.03
Leakage Areas:	159.0 cm² (+/- 2.8 %) Canadian EqLA @ 10 Pa or 0.41 cm²/m² Surface Area 85.4 cm² (+/- 4.6 %) LBL ELA @ 4 Pa or 0.22 cm²/m² Surface Area
Building Leakage Curve:	Air Flow Coefficient (Cenv) = 32.5 m³/(h·Paⁿ) (+/- 7.5 %) Air Leakage Coefficient (CL) = 32.6 m³/(h·Paⁿ) (+/- 7.5 %) Exponent (n) = 0.641 (+/- 0.021) Correlation Coefficient = 0.99918
Test Standard:	EN 13829
Test Mode:	Depressurization
Type of Test Method:	A
Regulation complied with:	n50 ≤ 1.5 1/h



BUILDING LEAKAGE TEST Page 2 of 4

Date of Test: 23.11.2019 Test File: Untitled

Building Information

Volume (m ³)	205.79
Surface Area: (m ²)	386.60
Floor Area: (m ²)	79.15
Height (m)	2.6
Uncertainty of Dimensions (%)	3
Year of Construction	
Type of Heating	
Type of Air Conditioning	
Type of Ventilation	None
Building Wind Exposure	Partly Exposed Building
Wind Class	Light Air

Equipment Information

Type	Manufacturer	Model	Serial Number	Custom Calibration Date
Fan	Energy Conservatory	Model 4 (230V)		-
Micromanometer	Energy Conservatory	DG700	63745-107	27/12/2016

BUILDING LEAKAGE TEST Page 3 of 4

Date of Test: 23.11.2019 Test File: Untitled

Depressurization Test:

Environmental Data

Indoor Temperature (°C)	Outdoor Temperature (°C)	Barometric Pressure (Pa)
24.0	18.0	101325.0

Pre-Test

Baseline Pressure Data

Post-Test

$\Delta p_{0,1-}$	$\Delta p_{0,1+}$	$\Delta p_{0,1}$	$\Delta p_{0,2-}$	$\Delta p_{0,2+}$	$\Delta p_{0,2}$
-0.1	0.0	-0.1	-0.4	0.0	-0.4

Data Points

Nominal Building Pressure (Pa)	Baseline Adjusted Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m ³ /h)	Adjusted Flow (m ³ /h)	% Error	Fan Configuration
-0.1	n/a	n/a				
-67.9	-67.6	35.3	480	474	-2.3	Ring B
-58.9	-58.6	31.4	452	447	1.0	Ring B
-54.7	-54.5	27.9	427	422	-0.2	Ring B
-46.1	-45.8	22.9	387	383	1.2	Ring B
-41.8	-41.5	278.8	352	348	-2.0	Ring C
-34.0	-33.7	235.9	323	319	2.7	Ring C
-29.0	-28.7	185.5	285	282	0.6	Ring C
-22.4	-22.2	133.9	241	239	0.4	Ring C
-17.3	-17.1	95.7	203	201	-0.1	Ring C
-11.1	-10.8	53.2	150	148	-1.2	Ring C
-0.4	n/a	n/a				

Şekil 4.3: BlowerDoor Test ölçümü sonuçları - Konut 1.

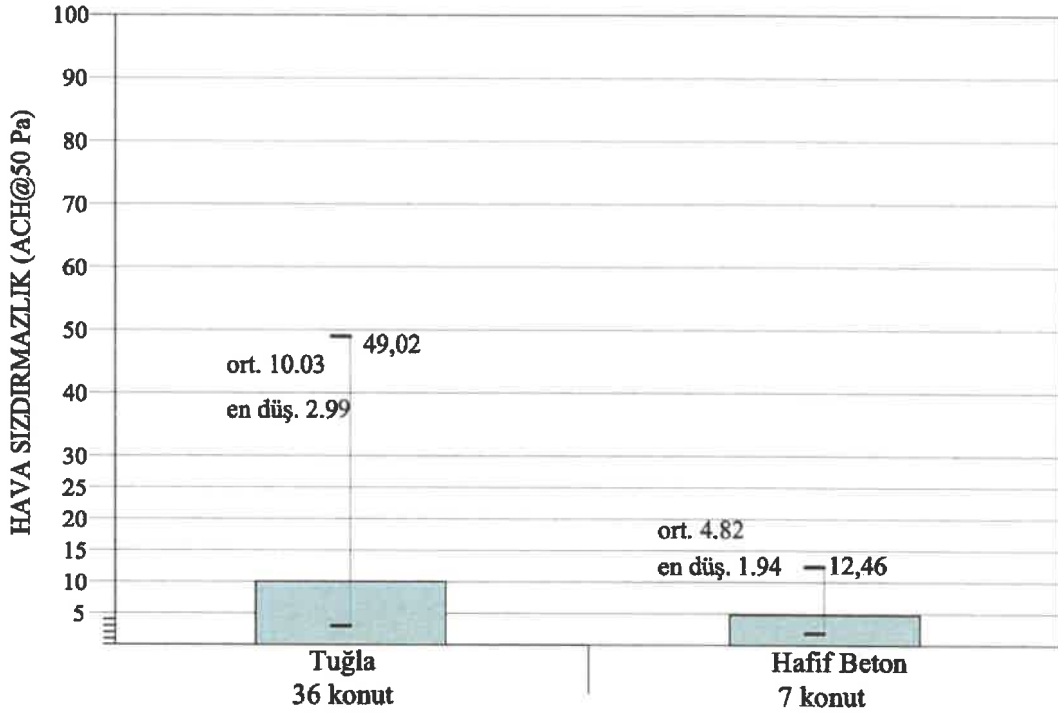
BlowerDoor ölçüm sonucuna göre $1,94 \text{ h}^{-1}$ değeri ile en yüksek hava sızdırmazlık performansına sahip olan Konut 1'e ait görünüş (güney cephe) Resim 4.1'de yer almaktadır. BlowerDoor ölçümleri sırasında konut büyüklüğüne bağlı olarak düzenekte bulunan farklı fan kapakçıkları kullanılır ve kullanım alanı büyüklüğü arttıkça küçük çaplı kapaklar devreye alınır. Kullanım alanı $79,15 \text{ m}^2$ olan Konut 1 ölçümlerinde önce B kapakçığı kullanılmış, basınç değeri düştükçe C kapakçığı ile ölçüme devam edilmiştir (Şekil 4.3).



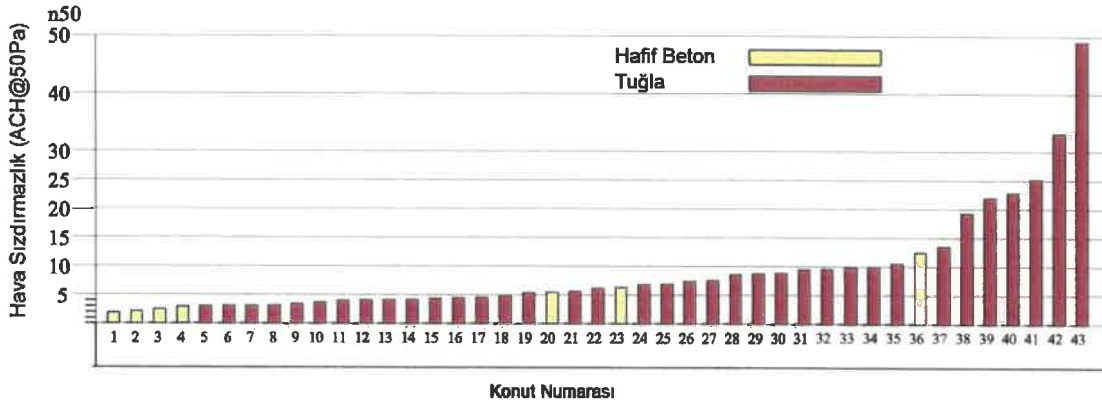
Resim 4.1: 2 cepheye sahip Konut 1 Binası Görünüş ve BlowerDoor ölçümü.

Alan çalışmasında elde edilen veriler incelendiğinde cephe sayısı arttıkça binanın hava sızdırmazlık performansının azaldığı görülmektedir. Kullanım alanı $<50 \text{ m}^2$ olan konutlardan en "yüksek" hava sızdırmazlık performansı gösteren Konut 13, 1 cepheye, en "düşük" performansı sergileyen Konut 43 ise 4 cepheye sahiptir.

Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'te farklı duvar malzemesi kullanımına bağlı olarak saptanan hava değişim oranı (n_{50}) değerleri görülmektedir. Ölçüm yapılan apartman tipi konutlarda genelde duvar malzemesi olarak tuğla ve hafif beton malzemesi kullanıldığı görülmüştür. Hafif beton duvar malzemesi ile inşa edilen konutların n_{50} değeri ortalamasının, tuğla duvar malzemesi kullanılan konutlara göre daha düşük olduğu saptanmıştır. Hafif beton malzeme kullanılan konutlarda (7 konut) en düşük hava değişim oranı $1,94 \text{ h}^{-1}$, en yüksek hava değişim oranı ise $12,46 \text{ h}^{-1}$ olarak ölçülmüştür. Duvar malzemesi olarak tuğla kullanılan konutlarda ise hava sızdırmazlık değeri $3,05 - 49,02 \text{ h}^{-1}$ arasında saptanmıştır. Duvar malzemesinin boşluklu bir yapıda olmasının hava sızdırmazlık performansını etkileyen bir parametre olduğu dikkat çekmektedir. Bilindiği üzere karkas yapılarda dış duvarlarda delikli tuğla kullanımının hava sızdırmazlığa olumsuz etkisinin olduğu düşünülmekle birlikte zamanla dış etkenlere açık olan duvar sıva katmanındaki çatlama, dökülme gibi hasarların da etkili olduğu da açıktır.



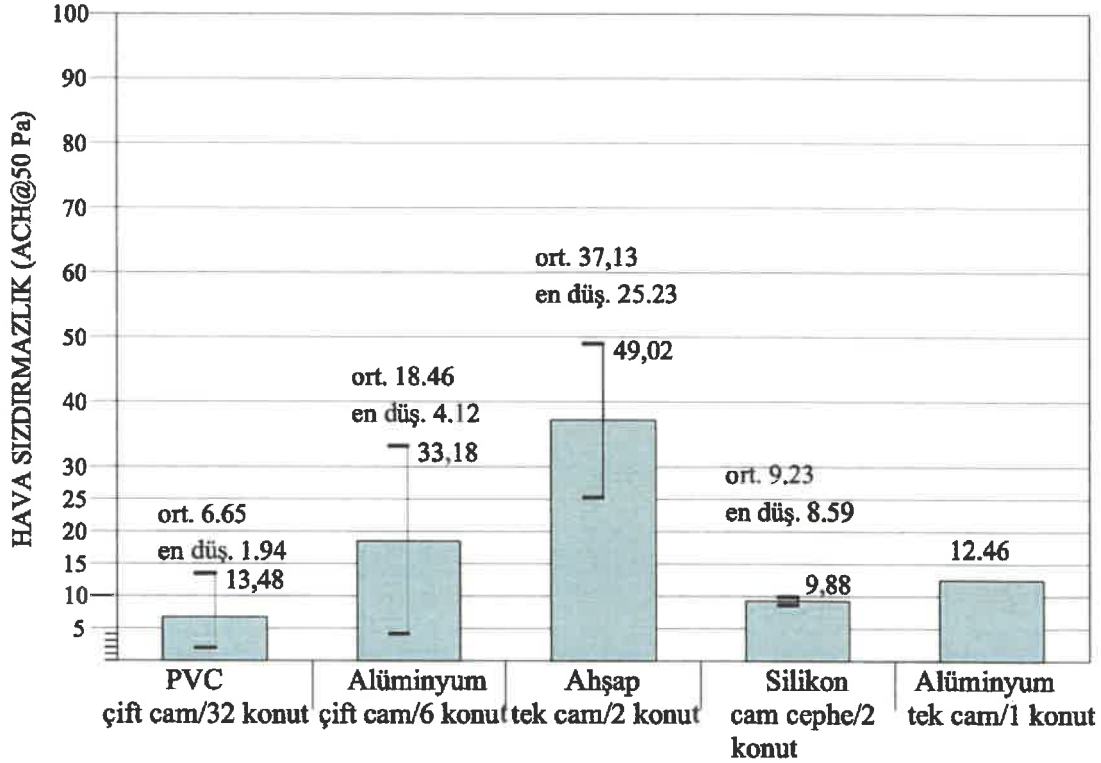
Şekil 4.4: Duvar malzemesine göre en düşük ve ortalama n₅₀ değerleri.



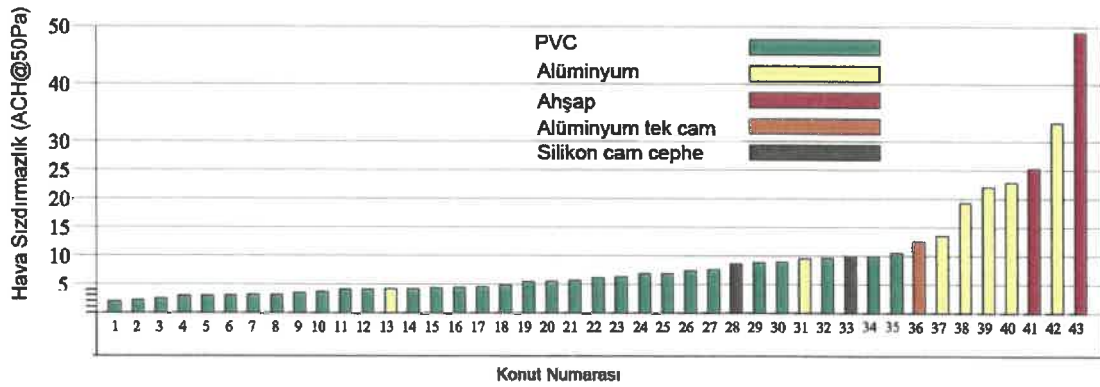
Şekil 4.5: Konutlarda duvar malzemesine göre hava değişim oranı (n₅₀) değerleri.

Yapılarda doğal havalandırma pencereler aracılığı ile gerçekleştirilmekte olup kullanılan doğrama malzemesi ve cam türünün hava sızdırmazlığında büyük oranda etkili olduğu bilinmektedir. Şekil 4.6'da görüldüğü üzere sızdırmazlık açısından PVC doğramalara sahip konutların (1,94 - 13,48 h⁻¹) en iyi performansı gösterdiği saptanmıştır; bunu alüminyum (4,12 - 33,18 h⁻¹) ve ahşap doğramalı konutlar (25,23 - 49,02 h⁻¹) izlemektedir. Doğramalarda sızdırmazlık konusunda contaların etkisi de önemlidir; ayrıca malzeme türü açısından doğal ve çevresel koşullara bağlı olarak çalışan bir malzeme olan ahşap doğramalarda yüksek n₅₀ değerleri saptandığına dikkat çekmek gerekir. Ölçümlerde cam sayısının da bina kabuğu hava sızdırmazlığı üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Bilindiği üzere çift camlı pencereler de tek cama göre daha sızdırmaz özelliindedir. Alan çalışmasında görüldüğü üzere kullanıcıların çeşitli gereksinimleri doğrultusunda pencere/kapı

kasalarından kablo geçirilmesi, cam veya duvarda menfez açılması vs. uygulamaların sızdırmazlığı olumsuz etkilediği açıktır. Şekil 4.7’de ölçüm yapılan konutların duvar malzemeleri ve n_{50} değerleri görülmektedir.



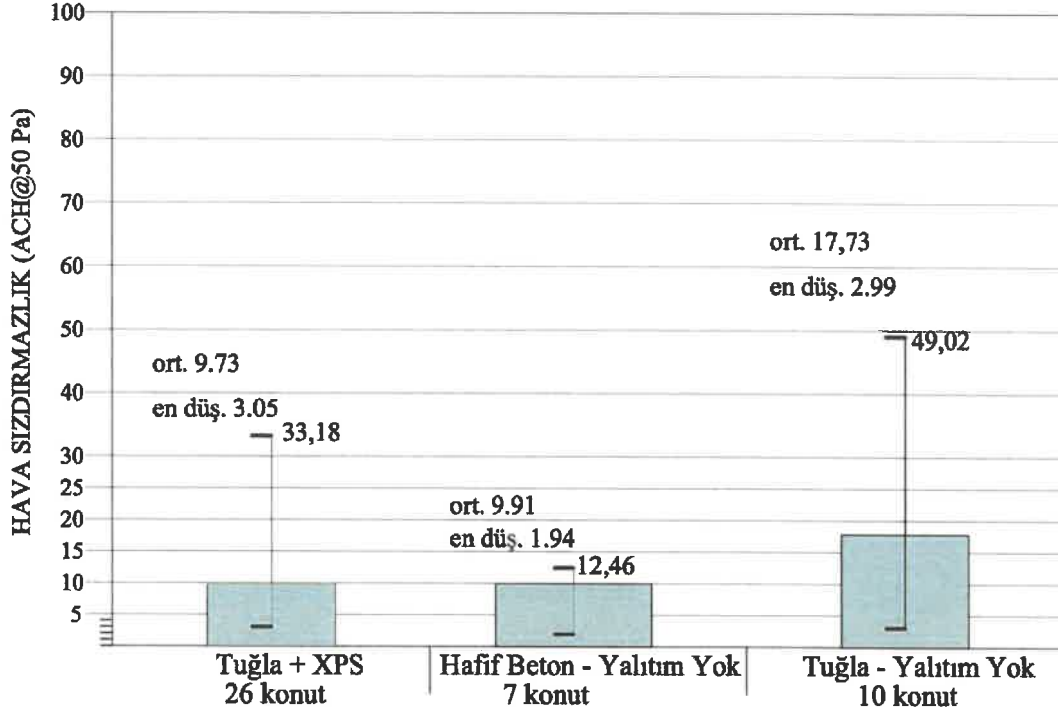
Şekil 4.6: Doğrama ve cam türüne göre en düşük ve ortalama n_{50} değerleri.



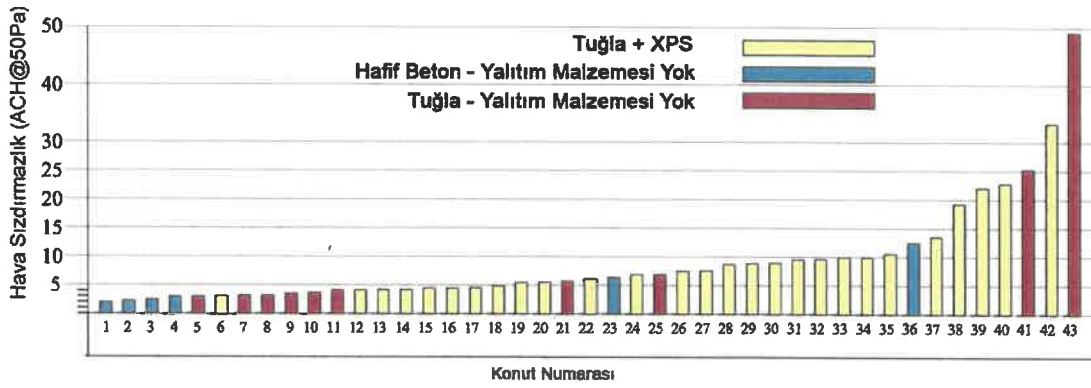
Şekil 4.7: Konutlarda doğrama malzemesine göre hava değişim oranı (n_{50}) değerleri.

Çalışmada konutların yalıtım durumuna göre ölçüm sonuçları Şekil 4.8’de yer almaktadır. İncelenen binalarda yalıtım uygulamasının tespitinde yerinde gözlemler, kullanıcı beyanları ve elde edilebilen projelerden yararlanılmıştır. Balıkesir İlinde duvarlarda ısı yalıtım malzemesi olarak ekstrüde polistren köpük (XPS) kullanımının yaygın olması ve 26 konut kullanıcı beyanları belirleyici olmuş, 4 konutta ise ısı yalıtım malzemesi kullanılmadığı saptanmıştır. Isı yalıtım malzemesi kullanılmayan 7 konutun dış duvar malzemesi hafif betondan oluşmaktadır. XPS yalıtım malzemesi kullanılan konutlarda n_{50} değerleri 3,05 -

33,18 h⁻¹ arasında saptanırken, ısı yalıtımı olmayan hafif beton duvar malzemesine sahip konutlarda 1,94 - 12,46 h⁻¹ arasındadır. Isı yalıtımı olmayan tuğla duvar malzemesine sahip 4 konutta ise hava sızdırmazlık değerleri 5,67 - 49,02 h⁻¹ arasında tespit edilmiştir. Şekil 4.9'da ölçüm yapılan konutların yalıtım durumları ve n₅₀ değerleri görülmektedir.



Şekil 4.8: Yalıtım durumuna göre en düşük ve ortalama n₅₀ değerleri.



Şekil 4.9: Konutlarda yalıtım durumuna göre hava değişim oranı (n₅₀) değerleri.

Sonuç olarak duvar kuruluşu tuğla + ısı yalıtımı uygulamasına sahip olan konutların bina kabuğu hava sızdırmazlık değerleri standartlara yakın olarak elde edilmiştir. Ancak burada sızdırmazlığı etkileyen doğrama malzemesine de dikkat çekmek gerekir. Dış duvar kuruluşu tuğla + ısı yalıtımı olan ve alüminyum doğrama kullanılan Konut 39; n₅₀ değeri 21,99 h⁻¹'dir. Polonya'da 22 binada gerçekleştirilen bir alan çalışmasında hava sızdırmazlık değerleri 0,17 - 5,33 h⁻¹ arasında elde edilmiş olup ısı yalıtımının hava sızdırmazlığı üzerinde önemli bir

etkisi olduğu bildirilmiştir; ancak ısı yalıtım uygulanmalarındaki işçilik hatalarından dolayı hava sızdırmazlığının olumsuz etkilenebileceğine dikkat çekilmiştir [94]. Belçika'da son dönemlerde mevcut binalarda yaygın bir şekilde hava sızdırmazlık testleri yapıldığı belirtilmekte olup çalışma sonucuna göre 2006-2016 yılları arası inşa edilen binalarda hava sızdırmazlık değerlerinin önemli ölçüde değişmediğine vurgu yapılmaktadır; bu durum binaların tasarım ve uygulama aşamalarında hava geçirmez bina detaylarına ulaşmadaki bilgi eksikliğinden kaynaklandığına dayandırılmaktadır [95].

Hava sızdırmazlık konusunda konutun dış etkenlere açık olma durumuna ilişkin olarak aynı binada yer alan Konut 31 ve Konut 42'ye ait sonuçlar şekil 4.10 ve 4.11'de verilmiştir. Ara kat (Konut 31) ve çatı katında (Konut 42) yer alan konutların n_{50} değerleri sırası ile 9,48 ve 33,18 h^{-1} olarak ölçülmüştür. Bu durumun çatıda gereğince ısı yalıtım önlemlerinin alınmadığı ve uygulamadaki yetersizlikten kaynaklanabileceği şeklinde yorumlanabilir.

Date of Test: 19.12.2019
Test File: Untitled
Customer:

Technician:
Project Number:
Building Address:

Test Results at 50 Pascals:

V50: m ³ /h Airflow	811 (+/- 0.3 %)
n50: 1/h (Air Change Rate)	9.48
w50: m ³ /(h·m ² Floor Area)	23.71
q50: m ³ /(h·m ² Envelope Area)	4.28

Leakage Areas:

392.8 cm² (+/- 0.6 %) Canadian EqLA @ 10 Pa or 2.07 cm²/m² Surface Area
235.9 cm² (+/- 0.9 %) LBL ELA @ 4 Pa or 1.24 cm²/m² Surface Area

Building Leakage Curve:

Air Flow Coefficient (Cenv) = 105.4 m³/(h·Paⁿ) (+/- 1.5 %)
Air Leakage Coefficient (CL) = 106.7 m³/(h·Paⁿ) (+/- 1.5 %)
Exponent (n) = 0.519 (+/- 0.004)
Correlation Coefficient = 0.99995

Test Standard:

EN 13829

Test Mode:

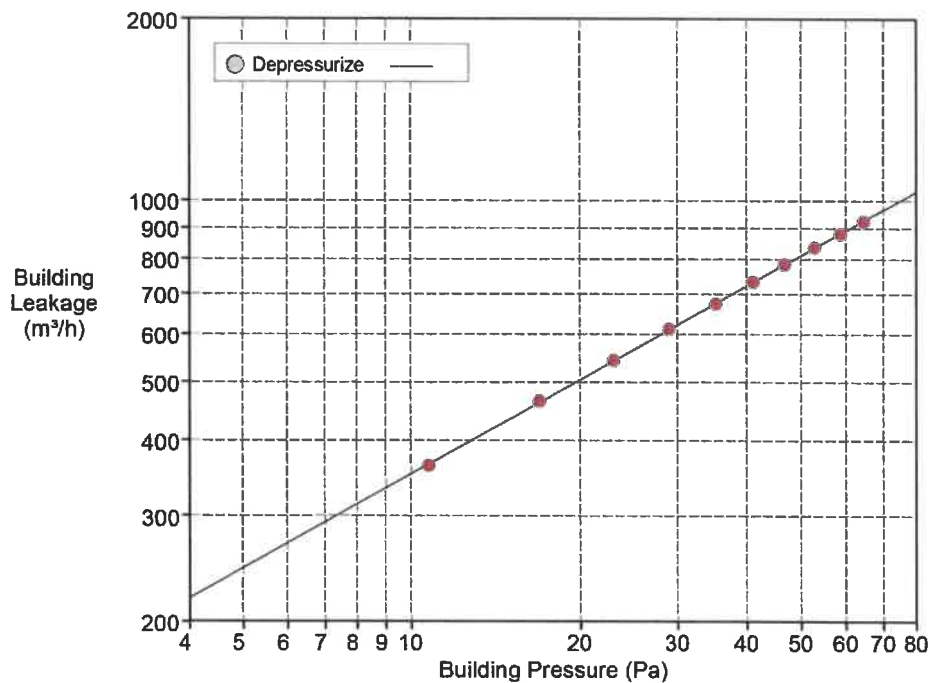
Depressurization

Type of Test Method:

A

Regulation complied with:

n50 ≤ 1.5 1/h



BUILDING LEAKAGE TEST Page 2 of 4

Date of Test: 19.12.2019 Test File: Untitled

Building Information

Volume (m³)	85.55
Surface Area: (m²)	189.59
Floor Area: (m²)	34.22
Height (m)	2.5
Uncertainty of Dimensions (%)	3
Year of Construction	
Type of Heating	
Type of Air Conditioning	
Type of Ventilation	None
Building Wind Exposure	Partly Exposed Building
Wind Class	Light Air

Equipment Information

Type	Manufacturer	Model	Serial Number	Custom Calibration Date
Fan	Energy Conservatory	Model 4 (230V)		-
Micromanometer	Energy Conservatory	DG700	63745-107	27/12/2016

BUILDING LEAKAGE TEST Page 3 of 4

Date of Test: 19.12.2019 Test File: Untitled

Depressurization Test:

Environmental Data

Indoor Temperature (°C)	Outdoor Temperature (°C)	Barometric Pressure (Pa)
24.0	13.0	101325.0

Pre-Test

Baseline Pressure Data

Post-Test

$\Delta p_{0,1-}$	$\Delta p_{0,1+}$	$\Delta p_{0,1}$	$\Delta p_{0,2-}$	$\Delta p_{0,2+}$	$\Delta p_{0,2}$
-0.2	0.0	-0.2	-0.3	0.0	-0.3

Data Points

Nominal Building Pressure (Pa)	Baseline Adjusted Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m³/h)	Adjusted Flow (m³/h)	% Error	Fan Configuration
-0.2	n/a	n/a				
-64.9	-64.6	137.3	942	924	-0.3	Ring B
-59.1	-58.8	124.8	898	881	-0.1	Ring B
-53.2	-53.0	112.5	853	837	0.1	Ring B
-47.1	-46.8	98.6	799	784	0.0	Ring B
-41.3	-41.1	86.0	747	733	0.0	Ring B
-35.4	-35.2	72.8	688	675	-0.2	Ring B
-29.2	-29.0	60.0	625	613	0.3	Ring B
-23.3	-23.0	47.1	554	543	0.2	Ring B
-17.2	-16.9	34.4	474	465	0.5	Ring B
-11.0	-10.7	21.0	371	363	-0.5	Ring B
-0.3	n/a	n/a				

Şekil 4.10: BlowerDoor ölçüm Sonucu - Konut 31.

Date of Test: 20.12.2019

Technician: resul srhan

Test File: Untitled

Project Number: samet daire 3

Customer:

Building Address:

Test Results at 50 Pascals:

V50: m³/h Airflow 1951 (+/- 0.2 %)
n50: 1/h (Air Change Rate) 33.18
w50: m³/(h·m² Floor Area) 69.67
q50: m³/(h·m² Envelope Area) 12.72

Leakage Areas:

875.6 cm² (+/- 1.3 %) Canadian EqLA @ 10 Pa or 5.71 cm²/m² Surface Area
503.6 cm² (+/- 2.1 %) LBL ELA @ 4 Pa or 3.28 cm²/m² Surface Area

Building Leakage Curve:

Air Flow Coefficient (Cenv) = 210.1 m³/(h·Paⁿ) (+/- 3.3 %)
Air Leakage Coefficient (CL) = 213.3 m³/(h·Paⁿ) (+/- 3.3 %)
Exponent (n) = 0.566 (+/- 0.009)
Correlation Coefficient = 0.99991

Test Standard: EN 13829

EN 13829

Test Mode: Depressurization

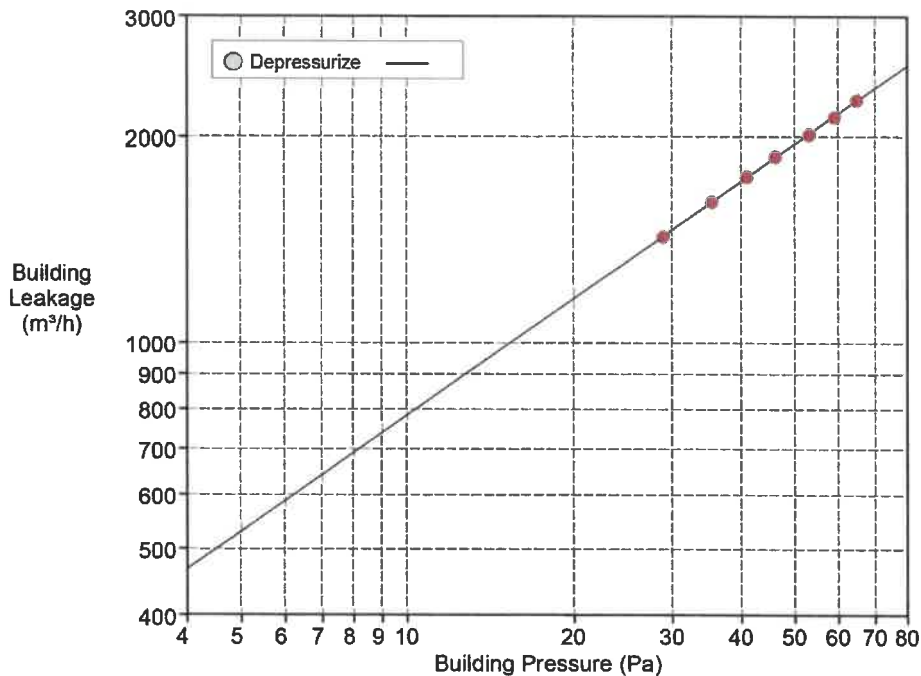
Depressurization

Type of Test Method: A

A

Regulation complied with: n50 ≤ 1.5 1/h

n50 ≤ 1.5 1/h



BUILDING LEAKAGE TEST Page 2 of 4

Date of Test: 20.12.2019 Test File: Untitled

Building Information

Volume (m ³)	58.82
Surface Area: (m ²)	153.42
Floor Area: (m ²)	28.01
Height (m)	2.1
Uncertainty of Dimensions (%)	3
Year of Construction	
Type of Heating	
Type of Air Conditioning	
Type of Ventilation	None
Building Wind Exposure	Partly Exposed Building
Wind Class	Light Air

Equipment Information

Type	Manufacturer	Model	Serial Number	Custom Calibration Date
Fan	Energy Conservatory	Model 4 (230V)		-
Micromanometer	Energy Conservatory	DG700	63745-107	27/12/2016

BUILDING LEAKAGE TEST Page 3 of 4

Date of Test: 20.12.2019 Test File: Untitled

Depressurization Test:

Environmental Data

Indoor Temperature (°C)	Outdoor Temperature (°C)	Barometric Pressure (Pa)
24.0	10.0	101325.0

Pre-Test

Baseline Pressure Data

Post-Test

$\Delta p_{0,1-}$	$\Delta p_{0,1+}$	$\Delta p_{0,1}$	$\Delta p_{0,2-}$	$\Delta p_{0,2+}$	$\Delta p_{0,2}$
-0.7	0.0	-0.7	-0.8	0.0	-0.8

Data Points

Nominal Building Pressure (Pa)	Baseline Adjusted Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m ³ /h)	Adjusted Flow (m ³ /h)	% Error	Fan Configuration
-0.7	n/a	n/a				
-65.6	-64.9	75.6	2326	2265	0.2	Ring A
-59.9	-59.2	67.3	2197	2140	-0.3	Ring A
-53.9	-53.1	59.8	2071	2017	-0.2	Ring A
-47.0	-46.2	51.4	1922	1872	0.3	Ring A
-41.7	-41.0	44.7	1794	1747	0.1	Ring A
-36.2	-35.4	37.8	1650	1607	0.1	Ring A
-29.6	-28.9	29.8	1467	1429	-0.2	Ring A
-0.8	n/a	n/a				

Şekil 4.11: BloweDoor Test Sonucu – Konut 42.



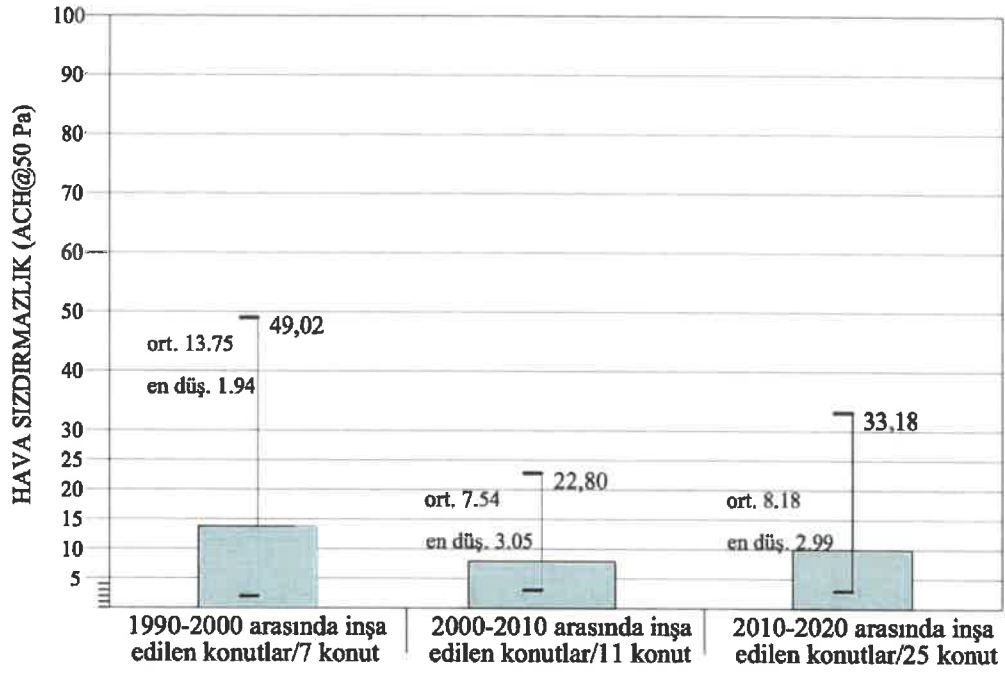
Resim 4.2: Konut 31 ve 42'nin bulunduğu bina.

Resim 4.3'de BlowerDoor Test ölçümü yapılan Konut 6 ve 29'un bulunduğu binalar görülmektedir.

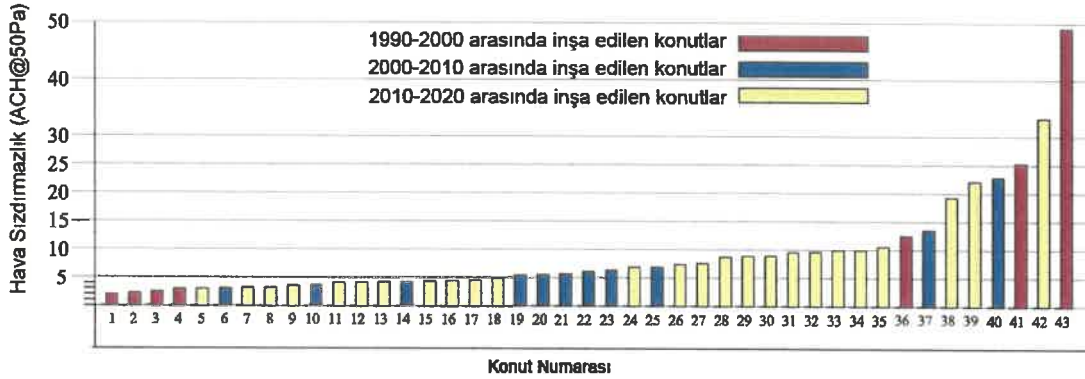


Resim 4.3: Konut 6 ve 29'un bulunduğu binalar.

Çalışmada binaların yapım yıllarına göre yapılan sınıflandırmanın sonuçları Şekil 4.12'de görülmektedir. Yapım yıllarına göre konutların hava sızdırmazlık durumları incelendiğinde 1990-2000 yılları arasında inşa edilen konutlarda (7 konut) n_{50} değerleri $1,94 - 49,02 \text{ h}^{-1}$ arasında; 2000-2010 yılları arasında (10 konut) $3,05 - 22,80 \text{ h}^{-1}$ ve 2010-2020 yılları arasında (20 konut) ise $4,08 - 33,18 \text{ h}^{-1}$ olarak ölçülmüştür. Şekil 4.13'de ölçüm yapılan konutların yalıtım durumları ve n_{50} değerleri görülmektedir.





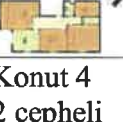




Şekil 4.12: Konutların inşa yıllarına göre hava değişim oranı değerleri.












Şekil 4.13: Konutların yapım yıllarına göre hava değişim oranı (n_{50}) değerleri.

Ölçüm yapılan 44 konuta ait n_{50} , q_{50} ve w_{50} değerlerinin TS 825, Almanya TNI 730330 ve Pasif Ev Standartları ile karşılaştırılmaları 10 yıllık periyotlar halinde Tablo 4.2, 4.3 ve 4.4'te yer almaktadır.

Tablo 4.2: Sızdırmazlık ölçüm sonuçlarının TS 825, TNI 730330, Pasif Ev Standartları ile karşılaştırılması (1990-2000 yılları arasında inşa edilen konutlar).

YIL 1990-2000	Saydam / Opak Yüzey	n_{50} :1/h hava değişim oranı	w_{50} : $m^3/(h.m^2)$ Taban alanı	q_{50} : $m^3/(h.m^2)$ Yüzey alanı	TS 825	Almanya TNI 730330	Pasif Ev
Konut 1 2 cepheli 	0,33	1,94	5,05	1,03	<2 AC H50	<1,50	<0,6
Konut 2 2 cepheli 	0,32	2,18	5,67	1,20	<2 AC H50	<1,50	<0,6
Konut 3 2 cepheli 	0,35	2,47	9,71	4,48	<2 AC H50	<1,50	<0,6
Konut 4 2 cepheli 	0,37	2,96	7,69	1,34	<2 AC H50	<1,50	<0,6
Konut 36 2 cepheli 	0,70	12,46	32,83	6,99	<2 AC H50	<1,50	<0,6
Konut 41 2 cepheli 	0,67	25,23	9,71	4,48	<2 AC H50	<1,50	<0,6
Konut 43 4 cepheli 	0,70	49,02	193,29	49,66	<4 AC H50	<1,50	<0,6






Tablo 4.3: Sızdırmazlık ölçüm sonuçlarının TS 825, TNI 730330, Pasif Ev Standartları ile karşılaştırılması (2000-2010 yılları arasında inşa edilen konutlar).

YIL 2000-2010	Saydam /Opak Yüzey	n ₅₀ :1/h hava değişim oranı	w ₅₀ : m ³ /(h.m ²) Yüzey alanı	q ₅₀ : m ³ /(h.m ²) Taban alanı	TS 825	Almanya TNI 730330	Pasif Ev
Konut 6 3 cepheli 	0,40	3,05	7,92	1,55	<2 ACH5 0	<1.50	<0,6
K 10 - 4 	0,15	3,65	10,25	2,04	ACH5 0 <4	<1,50	<0,6
Konut 14 1 cepheli 	0,45	4,16	11,22	2,06	<2 ACH5 0	<1.50	<0,6
Konut 19 1 cepheli 	0,65	5,42	14,08	3,02	<2 ACH5 0	<1.50	<0,6
Konut 20 2 cepheli 	0,55	5,47	14,21	2,87	<2 ACH5 0	<1.50	<0,6
Konut 21 3 cepheli 	0,43	5,67	14,74	2,89	<2 ACH5 0	<1.50	<0,6
Konut 22 3 cepheli 	0,40	6,11	15,88	2,68	<2 ACH5 0	<1.50	<0,6
Konut 23 2 cepheli 	0,50	6,30	16,39	3,43	<2 ACH5 0	<1.50	<0,6
Konut 25 2 cepheli 	0,52	6,89	17,91	3,69	<2 ACH5 0	<1.50	<0,6










Tablo 4.3 (devam)

Konut 40 1 cepheli 	0,50	22,80	59,28	17,59	<2 ACH50	<1,50	<0,6
Konut 37 2 cepheli 	0,64	13,48	33,70	6,46	<2 ACH50	<1,50	<0,6





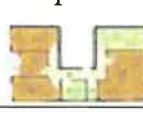


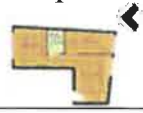
Tablo 4.4: Sızdırmazlık ölçüm sonuçlarının TS 825, TNI 730330, Pasif Ev Standartları ile karşılaştırılması (2010-2020 yılları arasında inşa edilen konutlar).

YIL 2010-2020	Saydam /Opak Yüzey	n_{50} :1/h hava değişim oranı	w_{50} : $m^3/(h.m^2)$ Yüzey alanı	q_{50} : $m^3/(h.m^2)$ Taban alanı	TS 825	Almanya TNI 730330	Pasif Ev
Konut 5 4 cepheli 	0,16	2,99	7,20	1,76	ACH50 <4	<1,50	<0,6
Konut 7 4 cepheli 	0,14	3,13	8,77	1,67	ACH50 <4	<1,50	<0,6
Konut 8 4 cepheli 	0,16	3,16	8,23	1,85	ACH50 <4	<1,50	<0,6
Konut 9 4 cepheli 	0,13	3,46	9,69	1,87	ACH50 <4	<1,50	<0,6
Konut 11 4 cepheli 	0,16	4,05	11,35	2,17	ACH50 <4	<1,50	<0,6




Tablo 4.4 (devam)

Konut 12 2 cepheli 	0,44	4,08	10,38	2,24	<2 ACH50	<1.50	<0,6
Konut 13 1 cepheli 	0,51	4,12	20,58	3,99	<2 ACH50	<1.50	<0,6
Konut 15 2 cepheli 	0,48	4,35	11,09	2,23	<2 ACH50	<1.50	<0,6
Konut 16 3 cepheli 	0,35	4,42	11,50	2,25	<2 ACH50	<1.50	<0,6
Konut 17 1 cepheli 	0,50	4,50	12,15	2,23	<2 ACH50	<1.50	<0,6
Konut 18 2 cepheli 	0,44	4,82	12,54	22,71	<2 ACH50	<1.50	<0,6
Konut 24 2 cepheli 	0,48	6,86	17,84	3,55	<2 ACH50	<1.50	<0,6
Konut 26 2 cepheli 	0,65	7,40	19,24	3,88	<2 ACH50	<1.50	<0,6
Konut 27 1 cepheli 	0,70	7,56	19,65	4,16	<2 ACH50	<1.50	<0,6

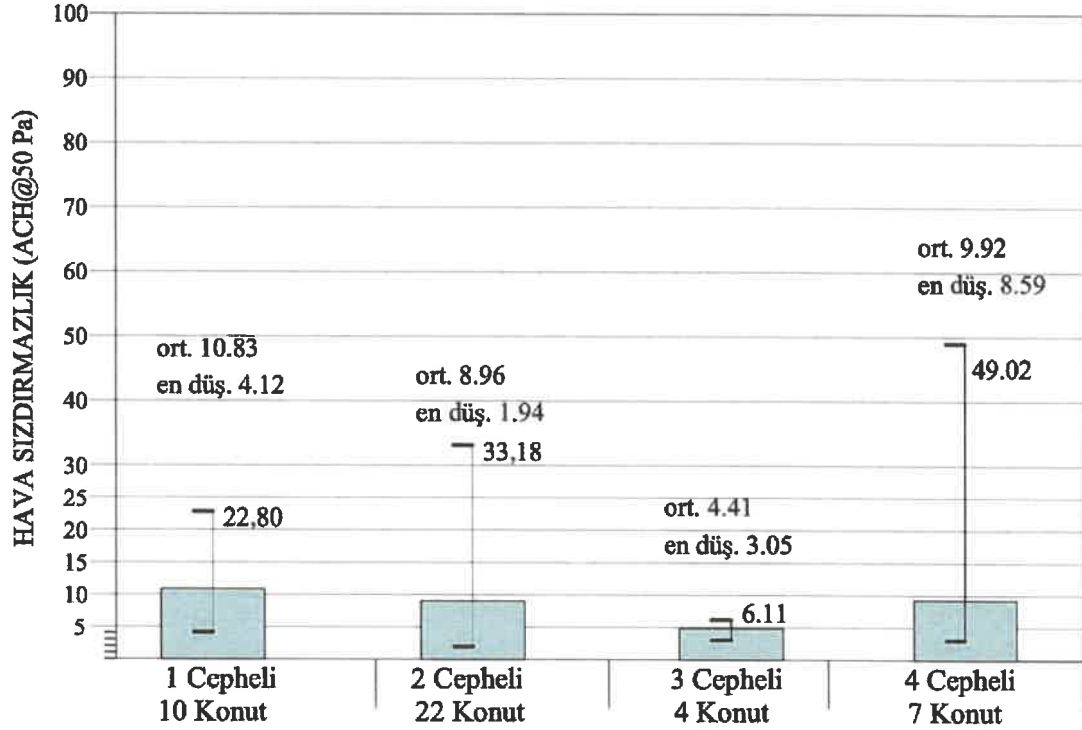
Tablo 4.4 (devam)

Konut 28 1 cepheli 	0,80	8,59	21,47	3,89	<2 ACH50	<1.50	<0,6
Konut 29 2 cepheli 	0,65	8,79	22,84	3,59	<2 ACH50	<1,50	<0,6
Konut 30 2 cepheli 	0,70	8,85	23,04	4,18	<2 ACH50	<1.50	<0,6
Konut 31 2 cepheli 	0,68	9,48	23,71	4,28	<2 ACH50	<1.50	<0,6
Konut 32 2 cepheli 	0,50	9,54	24,81	4,24	<2 ACH50	<1.50	<0,6
Konut 33 2 cepheli 	0,85	9,88	24,69	5,65	<2 ACH50	<1.50	<0,6
Konut 34 1 cepheli 	0,71	9,94	24,85	4,56	<2 ACH50	<1.50	<0,6
Konut 35 2 cepheli 	0,56	10,53	27,37	4,95	<2 ACH50	<1.50	<0,6

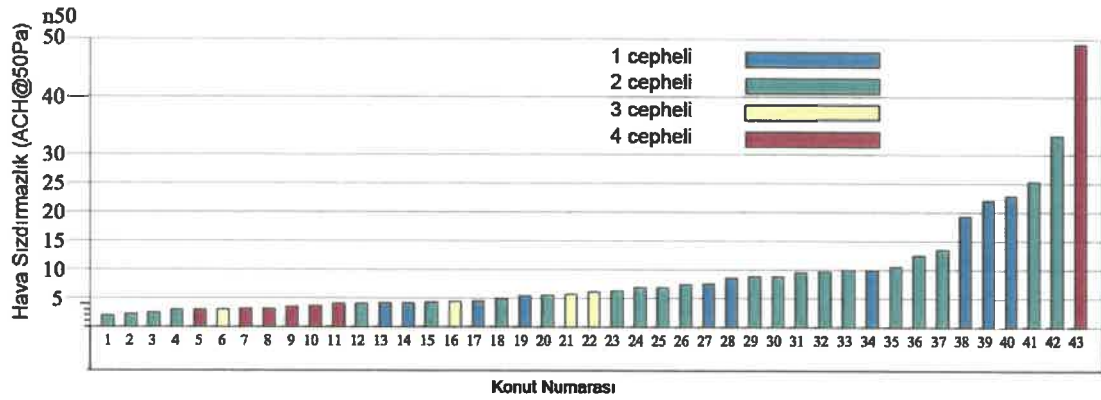
Tablo 4.4 (devam)

Konut 38 1 cepheli 	0,70	19,24	50,02	9,15	<2 ACH50	<1.50	<0,6
Konut 39 1 cepheli 	0,60	21,99	57,17	11,92	<2 ACH50	<1.50	<0,6
Konut 42 2 cepheli 	0,45	33,18	69,67	12,72	<2 ACH50	<1.50	<0,6

Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'te ölçüm yapılan konutların cephe sayısı ile hava değişim oranı sonuçları görülmektedir. Ölçüm yapılan konutlardan hava değişim oranı en yüksek olarak ölçülen konutun 4 cephesi bulunurken hava değişim oranı en düşük olan konutun ise 2 cephesi bulunmaktadır.



Şekil 4.14: Konutların cephe sayılarına göre hava değişim oranı değerleri.



Şekil 4.15: Konutların cephe sayılarına göre hava değişim oranı (n_{50}) değerleri.

Pasif ev standardına göre hava sızdırmazlık değeri $0,6 \text{ h}^{-1}$ ile sınırlandırılmaktadır [32]. Sonuç olarak ölçüm yapılan konutların Avrupa Pasif Ev Standardını sağlayamadığı görülmüştür. Avusturya’da doğal havalandırılan konutlarda pasif ev standardının sağlanması için belirlenen değer $n_{50} < 3$ ’tür [57]. BlowerDoor Test sonucuna göre alan çalışmasında yer alan sadece 4 konut (Konut 1-2-3-4) bu standarda uygundur. Bulgaristan Pasif Ev standardında ise yüksek sızdırmazlık performansı için sınır değeri $n_{50} < 2$ olmalıdır; dolayısıyla ile anılan standardı $1,94 \text{ h}^{-1}$ hava sızdırmazlık değeri ile sadece Konut 1 sağlamaktadır.

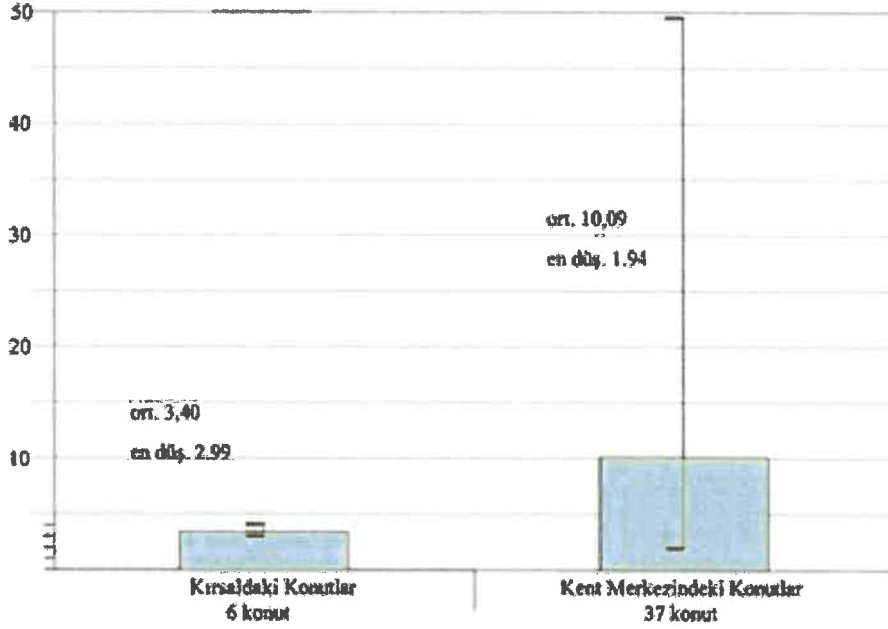
Kırsal alandan seçilen ve BlowerDoor Test ölçümü yapılan müstakil 6 konutun n_{50} değerleri $2,99 - 4,05 \text{ h}^{-1}$ arasında elde edilmiştir. Konut 5, Konut 7, Konut 8, Konut 9, Konut 10’un n_{50} değeri TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardına göre $n_{50} < 4$ (katta tek dairesi) olduğundan “yüksek” düzeyde hava sızdırmazlık performansı göstermektedir. Konut 11 ise ($n_{50}:4,50$) $4 < n_{50} < 10$ olduğundan “orta” düzeyde hava sızdırmazlık performansı sergilemektedir. Kırsalda ölçüm yapılan Konut 5 Resim 4.4’te görülmektedir.



Resim 4.4: Konut 5 binası.

Şekil 4.16’da kırsalda ve kent merkezindeki yer alan konutların bina kabuğu sızdırmazlık en düşük ve ortalama değerleri yer almaktadır. Kırsal alandaki örneklem sayısı az olmakla birlikte, her türlü dış etkenlere açık olmalarına karşın (4 cepheli) 5 konut, $2,99 - 4,05 \text{ h}^{-1}$ arasında ölçülen n_{50} değerleri ile “yüksek” düzeyde hava sızdırmazlık performansı

sergilemektedir. Kırsaldaki tüm örnekler müstakil yapıdadır; tümü tuğla malzemesine ve PVC doğramaya sahiptir. Bu sonuç, gözleme dayalı olarak farklı malzeme birleşimlerindeki önlemlerin alınması, PVC doğrama uygulaması ve işçilik kalitesinin nitelikli olması şeklinde yorumlanabilir.



Şekil 4.16: Kırsaldaki ve Kent Merkezindeki Konutların Bina Kabuğu Sızdırmazlık Durumu.

Ölçüm sonuçlarının TS 825 ve farklı Avrupa ülkelerinin standart değerleriyle [57] karşılaştırılması Tablo 4.5'te görülmektedir. Alan çalışmasında incelenen konutların Avrupa Pasif Ev Standardını sağlamadığı görülmüştür; Konut 1, Bulgaristan Pasif Ev Standartlarına göre “yüksek” düzeyde hava geçirmezlik performansı sergilerken diğer konutlar “düşük” kategorisinde yer almaktadır. Avusturya Pasif Ev Standartlarına göre ise n_{50} hava değişim oranı 3'ten küçük olan konutlar “yüksek” sızdırmaz olarak nitelendirilir; buna göre Konut 1-2-3-4 “yüksek” sızdırmazlık kategorisinde yer almaktadır. TNI 730330 Çek Cumhuriyeti standartlarına göre $<4,5 \text{ h}^{-1}$ hava değişim oranına sahip konutlar “yüksek” hava sızdırmazlık kategorisindedir; dolayısı ile incelenen 16 konut “yüksek” hava sızdırmazlık performansına sahiptir. TNI 730330 Danimarka ve Almanya standartlarına göre $1,5 \text{ h}^{-1}$ ile sınırlandırılan n_{50} değerini, yani yüksek hava sızdırmazlığı performansını alan çalışmasında incelenen konutlar sağlayamamıştır.

Tablo 4.5: Ölçüm sonuçlarının farklı Avrupa ülkelerinin sınır değerleri ile karşılaştırılması.

Standart	Bölge	Gereklilik	Standarda uygun örnekler
TS 825	Türkiye	n50<2(katta çok daire)	Konut 1
		N50<4 (katta tek daire)	Konut 5-7-8-9-10
Pasif Ev Standardı	Avrupa	<0,6	-
Pasif Ev Standardı	Bulgaristan	<2	Konut 1
Pasif Ev Standardı	Avusturya	<3	Konut 1-2-3-4
TNI 730330	Çek Cumhuriyeti	<4,5	Konut 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15-16
TNI 730330	Danimarka	<1,5	-
TNI 730330	Almanya	<1,5	-

Ölçüm Sonuçlarının İstatistik Yöntemleri İle Değerlendirilmesi,

Bina hava sızdırmazlığında önemli olabileceği varsayılan yapım yılı, doğrama türü, duvar malzemesi, cephe sayısı, yalıtım durumu ve bina kullanım alanı gibi parametrelerin de etkinlikleri ANOVA yöntemiyle analiz edilmiş olup test sonuçları Tablo 4.6’da verilmiştir.

Tablo 4.6: Hava sızdırmazlığa etki eden parametrelerin ANOVA yöntemi ile saptanması.

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
Bina Yaşı	Gruplar Arasında	71,889	8	8,986	7,489	,000
	Gruplar İçinde	41,997	35	1,200		
	Toplam	113,886	43			
Duvar Malzemesi	Gruplar Arasında	3,525	8	,441	9,305	,000
	Gruplar İçinde	1,657	35	,047		
	Toplam	5,182	43			
Doğrama Malzemesi	Gruplar Arasında	29,913	8	3,739	4,556	,001
	Gruplar İçinde	28,723	35	,821		
	Toplam	58,636	43			
Yalıtım Durumu	Gruplar Arasında	10,896	8	1,362	2,213	,050
	Gruplar İçinde	21,536	35	,615		
	Toplam	32,432	43			
Kullanım Alanı Büyüklüğü	Gruplar Arasında	10,608	8	1,326	6,073	,000
	Gruplar İçinde	7,642	35	,218		
	Toplam	18,852	43			
Cephe Sayısı	Gruplar Arasında	10,719	8	1,340	1,572	,169
	Gruplar İçinde	29,826	35	,852		
	Toplam	40,545	43			

ANOVA test analizinde gruplar arasında anlamlı farkın olup olmadığı p değerine göre saptanmıştır. Çalışma kapsamında p anlamlılık düzeyi %5 ($p \leq 0.05$) alınmıştır. ANOVA test sonucuna göre cephe sayısı parametresinin, p değerinin 0,05’ten büyük olması nedeni ile sızdırmazlık üzerindeki etkisinin çok anlamlı olmadığı saptanmıştır.

Bu bulgulara karşılık binanın yaşı, kullanım alanı büyüklüğü, doğrama malzemesi ve duvar malzemesi parametreleri ile sızdırmazlık arasında ANOVA testi sonuçlarına göre anlamlı bulgular elde edilmiştir. Bina yaşı, kullanım alanı büyüklüğü ve duvar malzemesi parametrelerinin p değeri %0,0 olarak saptanırken, doğrama malzemesi parametresinin p değeri %0,01 olarak elde edilmiştir. Bina yaşının gruplar arasındaki farklılığı 71,889, grup içindeki farklılığı ise 41,997 olarak tespit edilmiş olup bina yaşı parametresinin F değeri 7,489 olarak saptanmıştır. Bina yaşının p değerinin 0,000 olduğu ve gruplar arasında anlamlı farklılığı olduğu görülmüştür. Duvar malzemesi parametresinin gruplar arasındaki farklılığı 3,525, grup içindeki farklılığı ise 1,657 olarak tespit edilmiştir. Duvar malzemesi parametresinin F değeri ise 9,305 iken p değeri 0,000 olduğundan gruplar arasında anlamlı farklılığı olduğu dikkat çekmektedir. Doğrama malzemesi parametresinin gruplar arasındaki farklılığı 29,913 iken grup içindeki farklılık 28,723 olarak tespit edilmiştir. Doğrama malzemesi parametresinin F değeri 4,556 iken p değeri 0,001 olarak saptanmıştır. Yalıtım durumu parametresinin gruplar arasındaki farklılığı 10,896 iken grup içindeki farklılık 21,536 olarak tespit edilmiştir. Doğrama malzemesi parametresinin F değeri 1,362 iken p değeri 0,050 olarak saptanmıştır. Kullanım alanı büyüklüğü parametresinin gruplar arasındaki farklılığı 10,608 iken grup içindeki farklılık 7,642 olarak tespit edilmiştir. Kullanım alanı büyüklüğü parametresinin F değeri 6,073 iken p değeri 0,000 olarak saptanmıştır. Cephe sayısı parametresinin gruplar arasındaki farklılığı 10,719 iken grup içindeki farklılık 29,826 olarak tespit edilmiştir. Cephe sayısı parametresinin F değeri 1,572 iken p değeri 0,169 olduğundan gruplar arasında anlamlı bir fark olmadığı görülmektedir.

Ayrıca ANOVA test sonucuna göre anlamlı olduğu görülen bina yaşı parametresine ait Post Hoc test sonucu Tablo 4.7'de görülmektedir. Farklı yıllara göre yapılan kıyaslamada 1995-2000 yıllarında inşa edilen konutlarla 1990-1995, 2000-2020 arasında inşa edilen konutlar arasındaki hava sızdırmazlık durumu bakımından oldukça önemli bir fark olduğu görülmektedir.

Tablo 4.7: Yıllara göre yapılan Post Hoc test sonucu.

	(I) Yıllar	(J) Yıllar	Mean Difference (I-J)	Std. Error	p	Lower Bound	Upper Bound
Bonferroni	1990-1995	1995-2000	-36,26250	8,52430	,002	-62,9624	-9,5626
		2000-2005	-,21500	9,20729	1,000	-29,0542	28,6242
		2005-2010	-3,57750	7,38226	1,000	-26,7003	19,5453
		2010-2015	-2,99667	6,96006	1,000	-24,7971	18,8037
		2015-2020	-4,37115	6,89281	1,000	-25,9609	17,2186
	1995-2000	1990-1995	36,26250	8,52430	,002	9,5626	62,9624
		2000-2005	36,04750	9,20729	,005	7,2083	64,8867
		2005-2010	32,68500	7,38226	,001	9,5622	55,8078
		2010-2015	33,26583	6,96006	,000	11,4654	55,0662
		2015-2020	31,89135	6,89281	,001	10,3016	53,4811
	2000-2005	1990-1995	,21500	9,20729	1,000	-28,6242	29,0542
		1995-2000	-36,04750	9,20729	,005	-64,8867	-7,2083
		2005-2010	-3,36250	8,16139	1,000	-28,9257	22,2007
		2010-2015	-2,78167	7,78158	1,000	-27,1553	21,5919
		2015-2020	-4,15615	7,72149	1,000	-28,3415	20,0292
	2005-2010	1990-1995	3,57750	7,38226	1,000	-19,5453	26,7003
		1995-2000	-32,68500	7,38226	,001	-55,8078	-9,5622
		2000-2005	3,36250	8,16139	1,000	-22,2007	28,9257
		2010-2015	,58083	5,50241	1,000	-16,6539	17,8156
		2015-2020	-,79365	5,41710	1,000	-17,7612	16,1739
	2010-2015	1990-1995	2,99667	6,96006	1,000	-18,8037	24,7971
		1995-2000	-33,26583	6,96006	,000	-55,0662	-11,4654
		2000-2005	2,78167	7,78158	1,000	-21,5919	27,1553
		2005-2010	-,58083	5,50241	1,000	-17,8156	16,6539
		2015-2020	-1,37449	4,82593	1,000	-16,4904	13,7414
	2015-2020	1990-1995	4,37115	6,89261	1,000	-17,2186	25,9609
		1995-2000	-31,89135	6,89261	,001	-53,4811	-10,3016
		2000-2005	4,15615	7,72149	1,000	-20,0292	28,3415
		2005-2010	,79365	5,41710	1,000	-16,1739	17,7612
		2010-2015	1,37449	4,82593	1,000	-13,7414	16,4904

Bir tasarım parametresi olarak hava sızdırmazlığa en çok etki eden parametre olan doğrama türüne ait Post Hoc test sonucu Tablo 4.8'de yer almaktadır. Doğrama malzemesi türüne göre incelenen konutlar arasında en büyük fark PVC doğrama ile ahşap doğrama arasında tespit edilmiştir.

Tablo 4.8: Doğrama tipine göre yapılan Post Hoc test sonucu.

	(I)Doğrama Tipi	(J)Doğrama Tipi	Mean Difference (I-J)	Std. Error	p	Lower Bound	Upper Bound
Bonferroni	PVC çift cam	Alüminyum çift cam	-12,90021	4,48854	,039	-25,3598	-,4406
		Ahşap tek cam	-38,07687	5,35070	,000	-52,9297	-23,2240
		Silikon cam cephe	12,90021	7,35383	1,000	-24,0801	16,7464
	Alüminyum çift cam	PVC çift cam	12,90021	4,48854	,002	-43,2550	-7,0984
		Ahşap tek cam	-25,17667	6,51266	1,000	-13,6341	32,1008
		Silikon cam cephe	9,23333	8,23794	,000	23,2240	52,9297
	Ahşap tek cam	PVC çift cam	38,07688	5,35070	,002	23,2240	52,9297
		Alüminyum çift cam	25,17667	6,51266	,002	7,0984	43,2550
		Silikon cam cephe	34,41000	8,73766	1,000	10,1554	58,6646
	Silikon cam cephe	PVC çift cam	3,66688	7,35383	1,000	-16,7464	24,0801
		Alüminyum çift cam	-9,23333	8,23794	1,000	-32,1008	13,6341
		Ahşap tek cam	-34,41000	8,73766	,002	-58,6646	-10,1554

Tablo 4.9’da ise kullanım alanı büyüklüğüne göre 3 gruba ayrılan konutların birbirleriyle karşılaştırıldığı Post Hoc testi görülmektedir. Bu test sonucuna göre kullanım alanı $>100 \text{ m}^2$ olan konutlar ($p,05$) ile kullanım alanı $<50 \text{ m}^2$ olan konutların hava sızdırmazlıkları arasında önemli miktarda fark olduğu görülmektedir.

Tablo 4.9: Kullanım alanı büyüklüğüne göre yapılan Post Hoc test sonucu.

	(I)Kullanım Alanına Göre Konutlar	(J)Kullanım Alanına Göre Konutlar	Mean Difference (I-J)	Std. Error	p	Lower Bound	Upper Bound
Bonferroni	50 m ² 'den küçük konutlar	50-100 m ² arasındaki konutlar	14,69440	4,32208	,005	3,9057	25,4832
		100 m ² 'den büyük konutlar	17,61875	6,80219	,040	,6392	34,5983
	50-100 m ² arasındaki konutlar	50 m ² 'den küçük konutlar	-14,69440	4,32208	,005	-25,4832	-3,9057
		100 m ² 'den büyük konutlar	2,92435	6,55110	1,000	-13,4285	19,2772
	100 m ² 'den büyük konutlar	50 m ² 'den küçük konutlar	-17,61875	6,80219	,040	-34,5983	-,6392
		50-100 m ² arasındaki konutlar	-2,92435	6,55110	1,000	-19,2772	13,4285

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Balıkesir İlinin kent merkezi ve kırsal kesiminde yer alan 44 konutta Minneapolis BlowerDoor Test yöntemiyle hava sızdırmazlık performansı araştırılmıştır. Test edilen konutlarda 50 Pascal basınç farkındaki hava değişim oranı değerleri (n_{50}) 1,94 - 49,02 h^{-1} arasında ölçülmüştür. TS 825 Standardına göre hava sızdırmazlık değerleri $10 < n_{50}$ (katta tek daire) ve $5 < n_{50}$ (katta çok daire) şeklinde tanımlanmış olduğundan, incelenen 25 konutun bina kabuğu hava sızdırmazlık performansı “düşük” düzeyde sızdırmaz, 12 konut “orta” düzeyde sızdırmaz, 7 konut ise “yüksek” düzeyde sızdırmaz olarak saptanmıştır.

Avrupa Pasif Ev Standart değerinin $n_{50} < 0,6$ olmasından dolayı çalışmada incelenen hiçbir konutun bu değeri sağlayamadığı görülmüştür. Ancak diğer Avrupa Ülkelerinin Pasif Ev Standartları ile karşılaştırılması durumunda; Bulgaristan Pasif Ev Standardını ($n_{50} < 2$) sadece Konut 1, Avusturya Pasif Ev Standardını ($n_{50} < 3$) ise Konut 1: (n_{50} : 1,94), Konut 2 : (n_{50} : 2,18 h^{-1}), Konut 3 : (n_{50} : 2,47 h^{-1}) ve Konut 4 : (n_{50} : 2,96 h^{-1}) sağladığı tespit edilmiştir. Alan çalışmasında ölçümü yapılan 44 konuttan, Çek Cumhuriyeti'nin TNI 730330 Standardına göre ($n_{50} < 4,5$) 16 adet konut 1,94 – 4,42 h^{-1} değerleri ile “yüksek” düzeyde hava sızdırmazlık performansı sergilerken, Almanya ve Danimarka TNI 7303330 Standart koşulunu ($n_{50} < 1,50$) karşılayabilen konutun olmadığı görülmüştür.

Bina kabuğu hava sızdırmazlığında önemli olan yalıtım durumu, duvar malzemesi türü, cephe sayısı, doğrama/cam türü, kullanım alanı büyüklüğü ve binanın yaşı gibi parametrelerden hangisinin en etkili farklılaşmaya neden olduğunun saptanmasında uygulanan ANOVA testi ve Post Hoc istatistik yönteminin sonuçlarına göre çalışmada “bina yaşı” en etkili parametre olarak saptanmıştır. Bunu sırasıyla doğrama türü, kullanım alanı büyüklüğü, cephe sayısı, duvar malzemesi türü ve yalıtım durumu izlemektedir. Alan çalışmasında 1990 yılından günümüze dek inşa edilen konutlar ele alınmış olup 2018 yılında inşa edilen Konut 18 ve 32'nin hava değişim oranı (n_{50}) değerleri sırasıyla 4,82 ve 9,54 h^{-1} olarak ölçülmüştür. 1993 yılında inşa edilen Konut 1, 2, 3 ve 36'nın hava değişim oranı (n_{50}) değerleri sırasıyla 1,94, 2,18, 2,96 ve 12,46 h^{-1} 'dir. Elde edilen ölçüm sonuçlarına göre eski yapılarıdaki hava sızdırmazlık performansının yeni yapılara göre yüksek olduğu görülmektedir.

Tasarım açısından bina kabuğu hava sızdırmazlığı üzerinde en etkili parametrenin “doğrama türü” olduğu dikkat çekmektedir. Çalışmada standartlara uygunluk gösteren konutlarda PVC doğrama ve çift cam kullanıldığı gözlenmektedir. Alan çalışmasında ahşap ve alüminyum doğrama kullanılan konutlarda hava sızdırmazlık performansı daha düşük olarak ölçülmüştür (n_{50} : 4,12 - 49,02 h^{-1}). Gelişen teknoloji paralelinde kullanım alanı konutlarda da giderek yaygınlaşan giydirme cam cephe sistemine sahip 2 konutun n_{50} değerleri 8,59 ve 9,88 h^{-1} 'dir; dolayısı ile giydirme cepheli konutlarda sızdırmazlık performansının PVC doğramalı (1,94 - 10,53 h^{-1}) konutlara kıyasla daha düşük olduğu görülmüştür. Özellikle ahşap doğramaya sahip konutların oldukça düşük hava sızdırmazlık performansı sergilediği saptanmıştır. Ahşap doğramaya sahip konut sayısı (3 konut) oldukça az olmakla birlikte, gerek malzemenin deformasyonu ve kasa/kanat birleşimindeki sızdırmazlığın tam olarak sağlanamaması gerekse ahşap doğramaların tek cama sahip olması hava sızdırmazlık performansının düşük olmasındaki etkenler olarak değerlendirilmektedir. Bunu sırasıyla kullanım alanı büyüklüğü, cephe sayısı, duvar malzemesi türü ve yalıtım durumu izlemektedir.

Bina kabuğunun dış ortam ile olan etkileşimindeki yüzey alanı arttıkça hava sızdırmazlık performansının düştüğü saptanmıştır; 2 cepheli Konut 1; $1,94 \text{ h}^{-1} n_{50}$ değerine sahip iken 4 cepheye sahip Konut 43'ün n_{50} değeri $49,02 \text{ h}^{-1}$ olarak ölçülmüştür. Duvar malzemesi açısından bakıldığında ise hafif beton duvar malzemesine sahip olan konutların çalışma kapsamında ele alınan farklı Avrupa ülkelerin hava sızdırmazlık standartlarını karşıladığı saptanmıştır; ancak tuğla duvar malzemesine sahip konutlarda standarda uygunluğun daha düşük düzeyde kaldığı görülmüştür.

Ayrıca dikkat çekilmesi gereken bir diğer önemli konu ise dış duvarlarda ısı yalıtım uygulamasının bina kabuğu hava sızdırmazlığına olan etkisidir. Çalışmanın sonuçlarına göre ısı yalıtımı uygulanmış dış duvarlara sahip konutlarda daha yüksek hava sızdırmazlık performansı elde edilmiştir. Alan çalışmasında genelde XPS yalıtım malzemesi kullanılan konutlarda hava sızdırmazlık değerleri (n_{50}) $3,05 - 33,18 \text{ h}^{-1}$ arasında, ısı yalıtımı olmayan tuğla/hafif beton duvar malzemesine sahip konutlarda ise $1,94 - 49,02 \text{ h}^{-1}$ arasında saptanmıştır. Bu bulgular yapılan alanyazın taramasından elde edilen bilgilerle paralellik göstermekte olup bina kabuğunda uygulanan ısı yalıtımının hava sızdırmazlık performansında belirleyici bir etmen olduğunu ortaya çıkarmaktadır. Çalışmalarda hava sızdırmazlığı konusunda düşük performans sergileyen binalarda ısıtma yükünü %30-40, soğutma yükünü ise %10-15 oranında arttırdığı belirtilmekte olup tasarımda, malzeme seçimi, duvar kuruluşu ve uygulama aşamasında alınacak hava sızdırmazlık önlemleri ile enerji tüketiminde tasarruf sağlanacak ve iç ortam kullanıcı konfor koşullarının iyileştirilmesi olanaklı kılınacaktır.

Ayrıca özellikle mevcut binalarda gerek çevresel sorunlar ve enerji verimliliği gerekse kullanıcı konforu açısından hava sızdırmazlık performansının değerlendirilerek iyileştirme önlemlerinin alınması önemlidir. Ülkemizde bina kabuğu sızdırmazlık değerinin belirlenmesi konusundaki çalışmaların ve ölçüme yönelik uygulamaların çok yaygın olmadığı bilinmektedir. Bina hava sızdırmazlığının bina enerji tüketimi, yapı fiziği gerekleri, iç mekan kullanıcı konforu ve enerji verimliliğini doğrudan etkilemesi, bu konuda bilimsel çalışmaların artırılmasını, farklı iklim bölgelerine ve bina türüne bağlı olarak sınır değerlerin belirlenmesini gerektirmektedir.

Diğer yandan Avrupa Birliği ülkelerinde zorunluluk haline gelen pasif bina ve yaklaşık sıfır enerjili bina uygulamalarına yönelik olarak belirlenen sızdırmazlık standart değerlerinin ülkemiz iklimsel koşullarının dikkate alınarak farklı bina tipleri için de geliştirilmesi kaçınılmazdır.

6. KAYNAKLAR

- [1] Y. Ji, L. Duanmu, Li and Xiangli., “Building air leakage analysis for individual apartments in North China”, *Building and Environment*, 2017.
- [2] L. Eskola, J. Kurnitski, J. Jokisalo, K. Jokiranta, J. Palonen, J. Vinha and T. Kalamees, “Air pressure conditions in Finnish residences”, *Measurement*, 2, 6–13, 2007.
- [3] S. J. Emmerich, T. McDowell and W. Anis, NISTIR 7238, Investigation of the impact of commercial building envelope airtightness on HVAC energy use, NIST (National Institute of Standard and Technology), DOE (Department of Energy), the USA, 2005.
- [4] N. Sular, “Bina Kabuğunun Dış Duvar Bileşeninde Olası Hava Sızıntısının Alan Çalışması ile Belirlenmesi ve Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı*, İstanbul, 2016.
- [5] E.L. Alemdağ, Ö. Aydın, “Hastanelerde Cam Giydirme Cephe Sistemlerinin Konfor Koşullarına Etkisi”, X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Haziran 2020, [Online] Erişim adresi: <http://mmoteskon.org/wp-content/uploads/2014/12/2011-31.pdf>.
- [6] AB'nin Enerji Verimli Binalar ve Yeşil Enerji Politikası, 9 Mayıs 2020, [Online] Erişim adresi: <https://www.abbilgi.eu/tr/ab'nin-enerji-verimli-binalar-ve-yesil-enerji-politikasi.html>.
- [7] G. U. Harputlugil, “Enerji Verimli Bina tasarım Stratejileri”, 9 Mayıs 2020, [Online] Erişim adresi: <https://webdosya.csb.gov.tr/db/mesleki hizmetler/ustmenu/ustmenu845.pdf>.
- [8] ISO 19208 (2016). Framework for specifying performance in buildings.
- [9] TS ISO 15686_8 (2015). Binalar ve inşa edilmiş varlıklar – Kullanım ömrünün planlanması – Bölüm 8: Referans kullanım ömrünün tahmini, J.M. Howie, *Fundamentals of semigroup theory*. Oxford: Clarendon press, 1995.
- [11] Tarih Boyu Sürdürülebilirlik Kavramı ve Açıklamaları, 1 Haziran 2020, [Online], Erişim adresi: <http://ekolojist.net/tarih-boyu-surdurulebilirlik-kavrami-aciklamalari/>.
- [12] Sürdürülebilir Kalkınma Üzerine, 16 Nisan 2020, [Online], Erişim adresi: <https://docplayer.biz.tr/110829925-Surdurulebilir-kalkinma-uzerine.html>.
- [13] K. İslamoğlu, K. A., “Konutlarda Enerji Tüketimini Etkileyen Tasarım Yöntemleri ve BepTr Yöntemiyle Uygulama Örneklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 2017.
- [14] Binalarda Enerji Verimliliği, 1 Haziran 2020, [Online], Erişim adresi: http://www.bep.gov.tr/BEPTRWEB/Default.aspx#.Xta_bkBuLjY.

- [15] Enerji Kimlik Belgesi, 26 Nisan 2020, [Online], Erişim adresi: <https://www.enerjikimlikbelgesi.com/>.
- [16] Ecoyfs, a Navigant Company, İstanbul Aydın Üniversitesi ve İZODER, “Türkiye Bina Sektörü Enerji Verimliliği Teknolojisi Atlası”, ss.43, basılı olmayan kaynak.
- [17] OeEB by Allplan GmbH, Energy Efficiency Finance Country Report: Turkey. (2013). Vienna, AUSTRIA.
- [18] T. G. Özbalta, Y. Yıldız, “Yüksek Enerji Verimliliğine Sahip Bina Uygulamaları”, Soğutma Dünyası (Dergi) (ss.56-67), 2018.
- [19] Paris Anlaşması ve Anlaşmayı İmzalamayan Ülkeler, 12 Nisan 2020, [Online], Erişim adresi: <https://surdurulebilirlik.garantibbva.com.tr/surdurulebilirlik-blog/paris-anlasmasi-ve-anlasmayi-onaylamayan-ulkeler-turkiye-anlasmayi-neden-onaylamiyor/>.
- [20] Paris Anlaşması'na İlk Günde 175 Ülke İmza Attı, 14 Ocak 2020, [Online], Erişim adresi: <http://www.wwf.org.tr/?5540>.
- [21] Enerji- AB'nin Hedefleri, 14 Ocak 2020, [Online], Erişim adresi: <https://www.avrupa.info.tr/tr/enerji-abnin-hedefleri-58>.
- [22] AB İklim Yasasını Onayladı, 2050 Yılında İklim Nötr Olacak, 1 Nisan 2020, [Online], Erişim adresi: <https://yesilgazete.org/blog/2020/03/05/ab-iklim-yasasini-onayladi-2050-yilinda-iklim-notr-olacak/>.
- [23] Sıfır Enerji ve Pasif Ev Derneği, Pasif Ev Nedir, 24 Haziran 2020, [Online], Erişim adresi: <https://sepev.org/pasif-ev-nedir/>.
- [24] What is a Passive House, 25 Haziran 2020, [Online], Erişim adresi : https://passipedia.org/basics/what_is_a_passive_house.
- [25] The World's Passive House, Darmstadt-Kranichstein, Germany, 1 Şubat 2020, [Online], Erişim adresi: https://passipedia.org/examples/residential_buildings/multi-family_buildings/central_europe/the_world_S_first_passive_house_darmstadt-kranichstein_germany.
- [26] İzocam, Diyalog Dergisi, Ekim/Kasım/Aralık 2013 sayısı, ss.40, basılı olmayan kaynak.
- [27] J. Schinieders, A. Hermelink, "CEPHESUS results: measurments and occupants' satisfaction provide evidence for Passive Houses being an option for sustainable building, Energy Policy", Volume 34, Issue 2, 151-171, 2006.
- [28] Energy Efficiency of the Passive House Standart, 22 Ocak 2020, [Online], Erişim adresi: https://passipedia.org/operation/operation_and_experience/measurement_results/energy_use_measurement_results.

- [29] B. Demirel, "Pasif Ev Uygulamasının Türkiye İçin Değerlendirilmesine Yönelik Bir Çalışma", *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim dalı*, İstanbul, 2013.
- [30] Pasif Ev Temel Prensipleri Nelerdir, 20 Ocak 2020, [Online], Erişim adresi: <https://evekoeu.com/pasif-ev-nedir/>.
- [31] Passive House Building, 9 Mayıs 2020, [Online], Erişim adresi: <https://earthshipbiotecture.com/passive-house/>.
- [32] Pasif Ev Tasarım İlkeleri, 20 Ocak 2020, [Online], Erişim adresi: <https://passiv.de/en/02informations/02passive-house-requirements/02passive-house-requirements.html>.
- [33] Passive House Institute Darmstadt, "25 Years Of Passive House in Darmstadt Kranichstein", ss. 41 basılı olmayan kaynak, September 2016.
- [34] European Union – Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the Energy Performance of Buildings, 2002.
- [35] I. Udrea, C. Croitorub, I. Nastaseb, R. Crutescuc and V. Badescua, "Thermal Comfort in a Romanian Passive House. Preliminary Results", *Energy Procedia*, 2015.
- [36] I. Udrea and V. Badescu, "Usage of solar shading devices to improve the thermal comfort in summer in a Romanian Passiv House", *Simulation: Transactions of the Society for Modeling and Simulation International 2020*, Vol. 96(5) 471–486, 2020.
- [37] M. Ceacaru and V. Badescu, "Large Scale Implementation of Active Solar Systems Integrated In Passive Buildings. Possible Method To Achieve the Targets Of The Romanian Energy Strategy", *U.P.B. Sci. Bull.*, 2013.
- [38] ASHRAE - 55, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, 2013.
- [39] D. Hera, L. Drughean, A. Ilie and R. Crutescu, "Climatizarea unei case pasive cu functiune mixta, a XV-a Conferinta; Confort," *Eficienta, Conservarea energiei si Protectia mediului*, 26 – 27 noiembrie 2008.
- [40] Riedberg Passive House School; 20 Ocak 2020, [Online], Erişim adresi: [https://passipedia.org/examples/non-residential_buildings/passive_house_schools/riedberg_passive_house_school_frankfurt_germany?s\[\]=riedberg](https://passipedia.org/examples/non-residential_buildings/passive_house_schools/riedberg_passive_house_school_frankfurt_germany?s[]=riedberg).
- [41] Pasif Evler&Fırsatlar A. Nuri Bulut İzocam A.Ş., 26 Mayıs 2020, [Online], Erişim adresi: <https://docplayer.biz.tr/6535300-Pasif-evler-firsatlar-a-nuri-bulut-genel-mudur-izocam-a-s.html>.
- [42] H. Bakan, Yeşil Bina Değerlendirme Sistemlerinin İstanbul Ölçeğinde Değerlendirilmesi, Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi*, İstanbul, 2016.
- [43] İzocam'dan Gaziantep'e Pasif Ev, 26 Mayıs 2020, [Online], Erişim adresi: <https://www.izocam.com.tr/g389-izocam-dan-gaziantep-e-pasif-ev.html>.
- [44] G. Lohmeyer, "Praktische Bauphysik", Stuttgart: B.G. Teubner, 1985.
- [45] K. Tichelmann, and R. Ohl, "Wärmebrücken-Atlas: Trockenbau, Stahlleichtbau, Bauen im Bestand" Köln: Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, 2005.

- [46] W. Heindel, K. Krec, E. Panzhauser and A. Sigmund, “Wärmebrücken: Grundlagen, Einfache Formeln, Wärmeverluste”, Kondensation, 100 Durchgerechnete Baudetails, Wien: Spring Verlag, 1987.
- [47] A. A. Kahn, S. M. Karuppaiyil, “Fungal Pollution of Indoor Environments and Its Management”, Saudi Journal of Biological Sciences, Volume 19, Issue 4, October 2012, s. 405-426, 2015.
- [48] Definition and effects of thermal bridges, 18 Şubat 2020, [Online], Erişim adresi: https://passipedia.org/basics/building_physics_-_basics/thermal_bridges/thermal_bridge_definition.
- [49] Ö. Sarı, Bina Kabuğundaki Birleşim Bölgesi Detaylarının Oluşturulmasında Isı Köprüsü Oluşumunun Azaltılmasına Yönelik Tasarım İlkeleri, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 2017.
- [50] Airtightness in old buildings, 10 Nisan 2020, [Online], Erişim adresi: https://passipedia.org/planning/refurbishment_with_passive_house_components/thermal_envelope/airthightness.
- [51] ASTM (American Society of Testing and Materials) International Standards, Designation: E631 – 06 Standard Terminology of Building Constructions, 2015.
- [52] Binalarda Hava Sızdırmazlık ve Ölçüm Hizmeti, 12 Nisan 2020, [Online], Erişim adresi: <https://www.venesco.com.tr/havasizdirmazlik>.
- [53] Enerji Verimli Bina Tasarım Stratejileri, 12 Mayıs 2020, [Online], Erişim adresi: <https://webdosya.csb.gov.tr/db/meslekihizmetler/ustmenu/ustmenu845.pdf>.
- [54] Module 14 Structural Air Tightness, 25 Mayıs 2020, [Online], Erişim adresi: <https://tippenergy.ie/wp-content/uploads/2011/09/Module-14-StructuralAirTightness.pdf>.
- [55] Building Airtightness: Research and Practice, M. H. Sherman, R. Chan, Lawrence Berkeley National Laboratory, 2004.
- [56] Airtightness Requirements, 16 Nisan 2020, [Online], Erişim adresi: https://retrotec.com/pub/media/mageworx/downloads/attachment/file/a/r/article-airtightness_requirements.pdf.
- [57] N. Lechner, Heating, Cooling, Lighting Sustainable Methods for Architects, 2015.
- [58] ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) (2013). Chapter 16, Ventilation and Infiltration.
- [59] Lawson, T. V. (1980). Wind effects on buildings, Volume 1, Design applications, Applied Science Publishers Ltd., London.
- [60] IECC (International Energy Conservation Code) (2012). The U.S. Department of Energy (DOE), Building Technologies Programme, Air Leakage Guide.
- [61] ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) (2013). Chapter 24, Airflow Around Buildings.
- [62] Straube, J. (2012). PA-1203: Air leaks – How they waste energy and rot houses, Building Science Corporation.

- [63] N. S. Yüceer, Yapıda Çevre ve Enerji, Nobel Akademik Yayıncılık, 2015.
- [64] G. Z. Brown, M. DeKay, "Sun, Wind & Light, Architectural Design Strategies", John Wiley & Sons INC, 2001.
- [65] ISO 4354 (2009). Wind actions on structures.
- [66] L. Walker, S. Newman, Landscaping for energy conservation, Colorado State University, 2009.
- [67] J. Garratt, F. Nowak, "Tackling condensation: a guide to the causes of, and remedies for surface condensation and mould in traditional housing", Watford: Building Research Establishment, 1991.
- [68] J. Zeller and J. Werner, "Airtightness of Buildings, Measurements on Houses with a Very Low Heating Energy Consumption". Proceedings of International Symposium Energy Efficient Buildings. Design, Performance, and Operation - CIB Working Commission W67 "Energy Conservation in the Built Environment" and IEA-SHC Working Group Task XIII "Low Energy Buildings", Leinfelden-Echterdingen, Germany, 1993.
- [69] M. Bekboliev, Assessing The Airtightness Performance Of Container-Like Buildings in Relation to Its Effect on Energy Efficiency, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 2015.
- [70] W. Chan, W. Nazaroff, P. Price, M. Sohn and A. Gadgil, Analyzing a database of residential air leakage in the United States. Atmospheric Environment, 39(19), pp.3445-3455, 2005.
- [71] Partikül Sayımı: Nereden, Ne Zaman ve Nasıl?, 15 Mayıs 2020, [Online], Erişim adresi: <https://www.klimik.org.tr/wp-content/uploads/2014/03/SERAP-GÜNER.pdf>.
- [72] Yeni ISO14644-1:2015 Temiz oda Standardı ve Getirdiği Yenilikler, 18 Nisan 2020, [Online], Erişim adresi: https://www.temizoda.org.tr/media/files/Yeni_ISO14644-1_2015_Temizoda_Standardi_ve_Getirdigi_Yenilikler.pdf.
- [73] TS EN 13829: 2011-11, Binaların ısı performansını – Binaların hava geçirgenliğinin tayini – Fan basıncı altında tutma deneyi, Ankara, 2001.
- [74] ISO 9972:2006; 15 Mayıs 2020, [Online], Erişim adresi: <http://mosenergoconsult.ru/wp-content/uploads/2014/ISO-9972-2006-EN.pdf>.
- [75] Irbest.Eu, 29 Mayıs 2020, [Online], Erişim adresi: <https://irbest.eu/en/>.
- [76] Blower Door Test Procedure, 25 Nisan 2020, [Online], Erişim adresi: <https://www.youtube.com/watch?v=iKzY5yAR7Fo>.
- [77] EN 13829. Hellenic Standard. Thermal performance of buildings—determination of air permeability of buildings—fan pressurization method.
- [78] Açıklamalı ve Örneklerle TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Standartları, İzocam, Ocak 2013, ss. 27.
- [79] C. D. Şahin, Z. D. Arsan, G. G. Akkurt, "İzmir'de Bulunan Bir Konutta Ölçülen Hava Sızdırmazlık Değerinin Yıllık Isıtma Amaçlı Enerji Tüketimi Üzerine Etkisinin İncelenmesi", TESKON 2015, Bina Fiziği Sempozyumu, 2015.

- [80] Y. Mohamadi and S. Vahid Mirnoori, "The Impact of Airtightness on Energy Conservation of Conventional Cypriot Detached Houses", IJET, vol.4, part.6, pp.705708, 2012.
- [81] T. Keskin, "Yapı Kabuğunda Enerji Etkin İyileştirmeye Yönelik Güneş Isı Kazanç Faktörü ve Hava Sızdırmazlık Parametrelerinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, 2012.
- [82] Köppen İklim Sınıflandırmasına Göre Türkiye İklimi, 29 Mayıs 2020, [Online], Erişim adresi: https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/iklim_siniflandirmalari/koppen.pdf.
- [83] Balıkesir İlinin İklim Durumu, 15 Ocak 2020, [Online], Erişim adresi: http://izmir.mgm.gov.tr/files/iklim/balikesir_iklim.pdf.
- [84] Balıkesir Wheather Forecast; 15 Ocak 2020, [Online], Erişim adresi: <https://www.worldweatheronline.com/balikesir-weather/balikesir/tr.aspx>.
- [85] Varyans analizi; 1 Haziran 2020, [Online], Erişim adresi: https://tr.wikipedia.org/wiki/Varyans_analizi.
- [86] G. A. Ferguson, Statistical analysis in psychology and education. New York: McGrawHill Book Company, 1981.
- [87] B. J. Winer, Statistical principles in experimental design. New York: McGraw-Hill Book Company, 1971.
- [88] M. Kayri, "Araştırmalarda Gruplar Arası Farkın Belirlenmesine Yönelik Çoklu Karşılaştırma (Post-Hoc) Teknikleri", Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, Elazığ, 2009.
- [89] SPSS'te Tek Yönlü ANOVA testi, 1 Haziran 2020, [Online], Erişim adresi: <http://www.p005.net/spsste-anova-testi>.
- [90] Tek Yönlü Varyans Analizi (ANOVA), 1 Haziran 2020, [Online], Erişim adresi: <https://mustafaotrar.net/istatistik/tek-yonlu-varyans-analizi-anova/>.
- [91] URL 36; SPSS, 1 Haziran 2020, [Online], Erişim adresi: <https://tr.wikipedia.org/wiki/SPSS>.
- [92] L. H. Mortensen and N. C. Bergsee, Air Tightness Measurements in Older Danish Single-Family Houses, 2017.
- [93] M. Colijn, A. G. Entrop and M. E. Toxopeus, Evaluating The Effectiveness Of Improved Workmanship Quality On The Airtightness of Dutch detached Houses, 2017.
- [94] A. Miszczuk, The level of airtightness in energy-efficient single-family houses in Poland, 2016.
- [95] S. V. Linden and N. V. D. Bossche, Airtightness of sealed building joints: Comparison of performance before and after artificial ageing, Building and Environment, 2020.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Mustafa Serhan ÜNLÜTÜRK

Doğum tarihi ve yeri : 20.06.1996

e-posta : serhanunlitrk@gmail.com

Öğrenim Bilgileri

Derece	Okul/Program	Yıl
Y. Lisans	Balıkesir Üniversitesi/Mimarlık Fakültesi	2020
Lisans	Balıkesir Üniversitesi/Mühendislik Mimarlık Fakültesi	2018
Lise	Muharrem Hasbi Anadolu Lisesi	2014