



**Bu bir MMO
yayıdır**

MMO bu yayındaki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan, teknik bilgi ve basım hatalarından sorumlu değildir.

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ MAKİNE FAKÜLTESİ BİNASI'NIN ISIL KONFOR ŞARTLARINA BAĞLI ENERJİ ANALİZİ

**NURDİL ESKİN
MESUT GÜR
IŞIL ÖZKAYA
ÇAĞRIL CÖMERT
ALPEREN YILDIZELİ
İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**



İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ MAKİNE FAKÜLTESİ BİNASI'NIN ISIL KONFOR ŞARTLARINA BAĞLI ENERJİ ANALİZİ

Thermal Comfort Energy Analysis of İstanbul Technical University Mechanical Engineering Building

Nurdil ESKİN
Mesut GÜR
Işıl ÖZKAYA
Çağrı CÖMERT
Alperen YILDIZELİ

ÖZET

Verimli enerji kullanım fikirleri, binaların ortak kullanım alanlarının iklimlendirme çalışmalarına doğrudan etki etmektedir. Bu çalışmanın amacı; İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi Binasının ısı konfor şartlarına bağlı olarak enerji analizlerini gerçekleştirmektir. Bina kullanım alanları Autocad programı yardımıyla belirlenmiştir. Belirlenen kullanım alanları Design Builder programına yönlendirilerek binanın üç boyutlu (3-D) bir simülasyonu eklenmiştir. Bina bileşenlerinin ısı geçiş katsayıları Türk Standardı 825 (TS 825) ve The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) standardına bağlı olarak 3-D simülasyona girilmiştir. Bina bulunduğu bölgenin iklimsel verileri de ASHRAE'ye dayanarak simülasyonda girilmiştir. Kullanım alanlarının saate bağlı insan sayıları ve kullanım amaçları binanın günlük ve aylık kullanım çizelgeleri ders planları kullanılarak hesaplanmıştır. Isıl konfor şartları kış ve yaz için ASHRAE.55'ten belirlenmiştir. 3-D bina simülasyonu hazırlandıktan sonra Design Builder ve Energy Plus ile yaz ve kış tasarım günü ile yıllık enerji simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu simülasyonlarla binanın ısı kayıp ve kazançları, ısıtma, soğutma yükleri ile enerji tüketim miktarları belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Enerji analizi, enerji simülasyonu, ısı yük, ısı konfor şartı

ABSTRACT

Currently, the ideas of efficient energy application have a direct impact on the climatization studies of common use areas in buildings. The purpose of this study is to process the energy analyses of the Mechanical Engineering Building of ITU depending on the thermal comfort conditions. The building's common use areas are identified by using AutoCAD. These designated areas are then forwarded to Design Builder software to provide a 3-D simulation of the building. The heat transfer coefficients of the building components are added to the simulation in compliance with the Turkish Standard 825 (TS 825) and The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) Standards. Moreover, the climatic data of the building's location are added to the simulation in parallel with the ASHRAE Standard. In addition, the number of people that use the common areas depending on hours of a day and their purpose of use are also added to the simulation. After preparing the 3-D building simulation, annual energy simulation is processed on Design Builder and Energy plus by using summer and winter design days. Finally, with the use of these simulations, the heat abduction and gains, heating and cooling loads and energy consumption levels of the building are identified.

Key Words: Energy analysis, energy simulation, thermal load, thermal comfort condition

1. GİRİŞ

Son yıllarda enerjinin verimli kullanımı problemi, insanların yaşam alanlarının etkin bir biçimde ısıtma, havalandırma ve soğutma problemi ile birleşmiştir. Kullanım alanı, insan ve çalışma yoğunluğu fazla olan binaların iklimlendirilmesi sonucu tüketilen enerjinin optimizasyonu günümüz koşulları için bir gereklilik haline almıştır. Türkiye için yapılan çalışmalarda binalardaki ısıtma ihtiyacı için gerekli olan enerji miktarı, endüstri için gerekli olan enerji ihtiyacının hemen arkasından gelmektedir. Yapılan araştırmalara göre binaya uygun tasarım gerçekleştirilmesi ile enerji tüketimi 4 ila 5 kat arasında azaltılabilir [1]. HVAC sistemlerinde enerji verimliliğinin önemi artan sera gazı etkisi ile doğrudan ilişkilendirilmektedir. Mahaller için uygun tasarımların seçilmesi ile karbondioksit salımı azaltılabilmektedir [2].

İnsanların çalışma, giyinme şekline bağlı olarak hacimlerin iklimlendirilmesi, mahalde bulunan insanların konforlu hissetmesini sağlamaktadır. Ortam nemi ve sıcaklığı, çalışma verimliliğini ve insan sağlığını doğrudan etkilemektedir. Özellikle ofis, sınıf, tiyatro vb. gibi alanlardaki insan yoğunluğu nedeniyle ortama salınan karbondioksit ve nem, bireylerin sağlığını ve konforunu olumsuz etkilemektedir. Mahal içerisinde bulunan ve dış ortamdaki taşınan toz, sigara dumanı gibi kirlenmeler ortamdaki hava kalitesini oldukça düşürmektedir. Aynı zamanda insan, hayvan ve bitkilerle taşınan virüs, bakteri ve küf mantarı gibi mikroorganizmaların da insan sağlığını ve ortam konforunu olumsuz yönde etkilediği bilinmektedir. Bu sebeplerle iç ortam havasının sürekli değiştirilmesi çok büyük önem taşımaktadır [3].

Tüm bu nedenlerden ötürü binaların enerji tüketiminin, ısıtma ve soğutma ihtiyacının ve sıcaklık, bağıl nem, CO₂ miktarı gibi iç ortam koşullarının anlık olarak belirlenmesi ihtiyacı doğmuştur. Bu ihtiyaca paralel olarak bina enerji simülasyonu giderek önem kazanmaktadır. Bina enerji performansı, bir binanın yapısal özelliklerine, işlevlerine, kullanım biçimlerine, iç ortam konfor koşullarına, çevresel iklim koşullarına ve diğer pek çok faktöre bağlıdır. Bu parametrelere bağlı olarak, Design Builder ve Energy Plus programları yardımıyla bina simülasyonu gerçekleştirilerek ısıtma ve soğutma gereksinimini anlık olarak hesaplanabilir. Bu yazılımlar aracılığıyla binanın farklı koşullar altındaki davranışının parametrik olarak analizi mümkündür. Bu sayede farklı bina tasarım ve iklimlendirme seçenekleri değerlendirilebilir ve enerji etkin tasarımlar gerçekleştirilebilir.

2. BİNA ELEMANLARININ TOPLAM ISI GEÇİŞ KATSAYILARININ STANDARTLARA GÖRE İNCELENMESİ

İTÜ Makina Fakültesi'nin toplam alanı 28916,70 m², hacmi ise 110487,59 m³'tür. Toplam duvar brüt alanı 14645,70 m², toplam pencere alanı ise 3258,81 m²'dir. Bina birbirinden ayrı olarak 150 mahale ayrılmıştır. Bu mahaller ortak kullanım alanlarının hepsini içermektedir. Örnek olarak bir mahal içerisinde birden fazla ofis odası bulunabilmektedir. Bina dış ve iç duvarlarının malzemesi tuğladır fakat kalınlıkları değişmektedir. Dış duvar kalınlığı 80 cm, iç duvar kalınlığı ise 75 cm ve 23 cm olarak iki farklı ölçüde alınmıştır. Pencere ise giyotin ve kanatlı pencereler olarak iki farklı türdedir. Pencere genellikle çift camdır ve çerçevesi ahşaptır.



Şekil 1. İTÜ Makina Fakültesi Binası [4].

Bir binanın enerji analizinin yapılabilmesi için duvar, pencere, kapı gibi yapı bileşenlerinin ısı iletim katsayılarının belirlenmesi analizlerin yüksek doğrulukta gerçekleştirilebilmesi için oldukça önemlidir. Bu amaçla TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları standardı ve ASHRAE standartları tarafından belirlenen hesap yöntemleri kullanılarak yapı elemanlarının ısı geçiş katsayıları teorik olarak hesaplanmıştır. [3-5]

Tablo 1. Bina elemanlarına ait toplam ısı geçiş katsayıları.

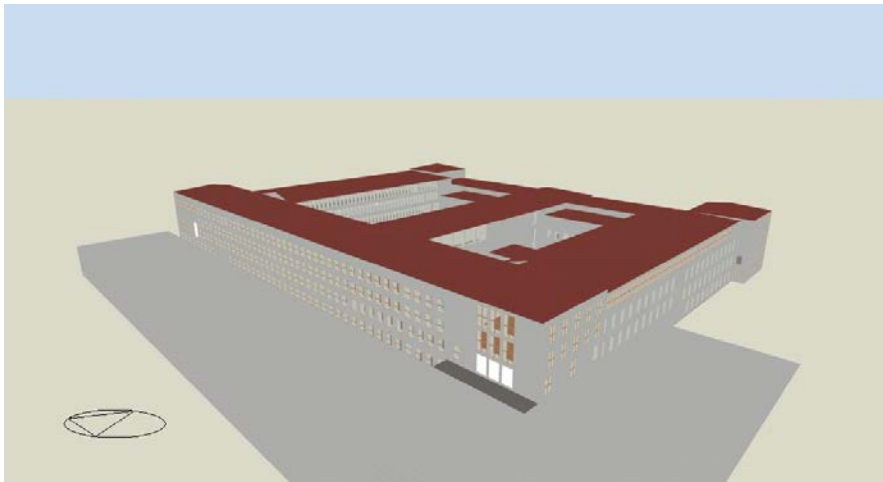
Bina Elemanları	Toplam Isı Geçiş Katsayı (W/m ² K)
Dış Duvar	0,802
75 cm Kalınlıktaki İç Duvar	0,784
23 cm Kalınlıktaki İç Duvar	1,58
Giyotin Pencere	2,943
Kanatlı Pencere	2,998

3. İTÜ MAKİNE FAKÜLTESİ BİNASI'NIN MODELLENMESİ

Binanın üç boyutlu modelinin oluşturulabilmesi amacıyla binanın orijinal mimari projesi esas alınarak iç ve dış bütün hacimler, pencere ve kapıların özellikleri belirlenmiştir. Binanın mimari proje yardımıyla, AUTOCAD programı kullanılarak iki boyutlu (2D) hali gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan bu çizimler ile Design Builder programında binanın üç boyutlu (3D) hali oluşturulmuştur.

Binanın ısı verilerini etkileyen yapısal özellikler, hacimlerin kullanım amaçları, hacim içerisindeki insan yoğunluğu, ekipmanlar ve aydınlatıcı cihazların ısı kazanç ve kayıpları üzerindeki etkisini göz önünde bulundurabilmek amacıyla, bina modeli oluşturulurken, her hacme ait bu değişkenler de model üzerine işlenmiştir.

Bir örnek vermek gerekirse binadaki en büyük amfilerden biri olan A501 amfisi maksimum öğrenci kapasitesi 180 kişi ve alanı 221,14 m² olan bir sınıftır. Bu amfinin kapasitesine göre yoğunluğu ve gerçek kullanım sıklığı çıkarılarak modellemede kullanılmıştır. (Tablo 2) Bu çalışma binadaki tüm hacimler için yapılarak model üzerinde işlenmiştir.



Şekil 2. Fakülte binasının Design Builder yardımıyla oluşturulmuş 3D görünümü.

Tablo 2. A501 amfisinin haftalık kullanım planı ve yoğunluğu

	08:30	09:30	10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30	16:30
Pazartesi	18%	18%	18%	18%	0%	57%	57%	37%	37%
Salı	44%	44%	44%	0%	0%	64%	64%	6%	6%
Çarşamba	57%	0%	0%	51%	18%	0%	0%	37%	0%
Perşembe	18%	18%	0%	0%	0%	35%	0%	64%	64%
Cuma	44%	44%	14%	14%	0%	0%	0%	6%	6%
Ortalama	23%				4%	27%			

3.1 Mahal Tasarım Sıcaklıklarının ve Bağıl Nem Miktarlarının ASHRAE Standart 55'e göre Belirlenmesi

İklimlendirmesi iyi yapılmamış mahallerin insan sağlığına doğrudan etki ettiği bilinen bir gerçektir. Ortam sıcaklık ve nemi, hacmi çevreleyen yüzey sıcaklıklarının insan sağlığını, psikolojisinin ve verimliliğini etkilemektedir. İnsan vücudunun ortam ile sürekli ısı alışverişi içinde olması nedeniyle, mahal koşullarının kış ve yaz mevsimleri için doğru tasarlanmış olması gerekmektedir. İnsanların giyim miktarlarına ve mevsime bağlı olarak farklı mahallerin genel konfor tasarım sıcaklık ve bağıl nem miktarı ASHRAE Standart 55 "Comfort Zone Method" grafiği ile belirlenmiştir [-6]. Belirlenen bu konfor şartları da 3D modele işlenmiş, modelde soğuk dış yüzey sıcaklıklarının konfor üzerindeki etkisi göz önüne alınmıştır.

Tablo 3. Binanın ASHRAE 55'e göre belirlenen ortam koşulları [6].

Mahaller	Kış Tasarım Şartları		Yaz Tasarım Şartları	
	Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem(%)	Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem(%)
Ofis, Konferans Salonu, Sınıf, Kafeterya	24	50	24	50
Koridor, Tuvalet	22	50	22	50

4. BİNA MODELİNİN SİMÜLASYONU VE ANALİZİ

Oluşturulan modelin analizi için EnergyPlus programından faydalanılmıştır. DesignBuilder programı ile oluşturulmuş modelin EnergyPlus girdi dosyası olan IDF dosyası oluşturulmuştur. DesignBuilder programının belirlediği zaman aralıkları sırasıyla yıllık analiz, yaz tasarım haftası, yaz ortalama haftası, yaz mevsimi, kış tasarım haftası, kış ortalama haftası ve kış mevsimidir. Oluşturulan model üzerinden üç ayrı zaman aralığı için simülasyon yapılmasının incelemede kolaylık sağlayacağı düşünüldüğü için kış tasarım haftası, yaz tasarım haftası ve yıllık simülasyon olmak üzere toplamda üç simülasyon yapılmasına karar verilmiştir.

4.1 Bina Modelinin Genel Özellikleri

4.1.1 Binanın Bulunduğu Bölgenin İklimsel Özellikleri

Dış ortama ilişkin sıcaklık, bağıl nem, rüzgar hızı gibi çeşitli bilgiler EnergyPlus programının hava durumu dosyasında barındırılmaktadır. Bu dosya, söz konusu bölgeye ait 1 yıllık sürede saatlik meteorolojik verileri içermektedir ve uzun yıllar boyunca elde edilen meteorolojik verilerin bir ortalamasıdır. Simülasyonda İstanbul iline ait hava durumu dosyası, ASHRAE'nin 2001 yılına ait iklimsel tasarım verilerinden oluşturulmuştur ve bu hava dosyasına ait şartlar Tablo 4 de verilmektedir.

Tablo 4. İstanbul için belirlenen hava koşulları.

	Kış tasarım günü	Yaz tasarım günü
Maksimum kuru termometre sıcaklığı (°C)	-2	31,8
Günlük sıcaklık değişimi ($\Delta^{\circ}\text{C}$)	0	7,6
Atmosfer Basıncı (Pa)	100881	100881
Yaş termometre sıcaklığı	-2	21,5
Rüzgar hızı (m/s)	13,7	0

4.1.2 Bina Kabuğuna İlişkin Veriler

Bina kabuğu, binanın dış ortamla ısı alışverişi içinde bulunan tüm dış yüzeylerini kapsayan bir tanımlamadır. Bina kabuğuna dair incelemeler, binanın özgül ısı kaybının ve yıllık ısıtma/soğutma ihtiyacının elde edilmesi bakımından önemlidir.

Tablo 5. Bina kabuğu ile ilgili alan miktarı bilgileri.

	İklimlendirilen	Toplam
Toplam duvar alanı (m ²)	16222,92	19908,12
Yer üstü duvar alanı (m ²)	14645,7	14998,58
Pencere alanı (m ²)	3571,31	3571,31
Pencere - duvar alanı oranı (%)	22,01	17,94
Yer üstü pencere – duvar alanı oranı (%)	24,38	23,81

4.1.3 Binanın Isıl Bölgelerine İlişkin Genel Bilgiler

Bina modeli, kullanım biçimlerine, işlevlerine, ısıtma-soğutma ihtiyaçlarına ve iklimlendirme koşullarına göre ısı bölgelere ayrılmıştır.

Tablo 6. Binanın ısı bölgelerinin dağılımı.

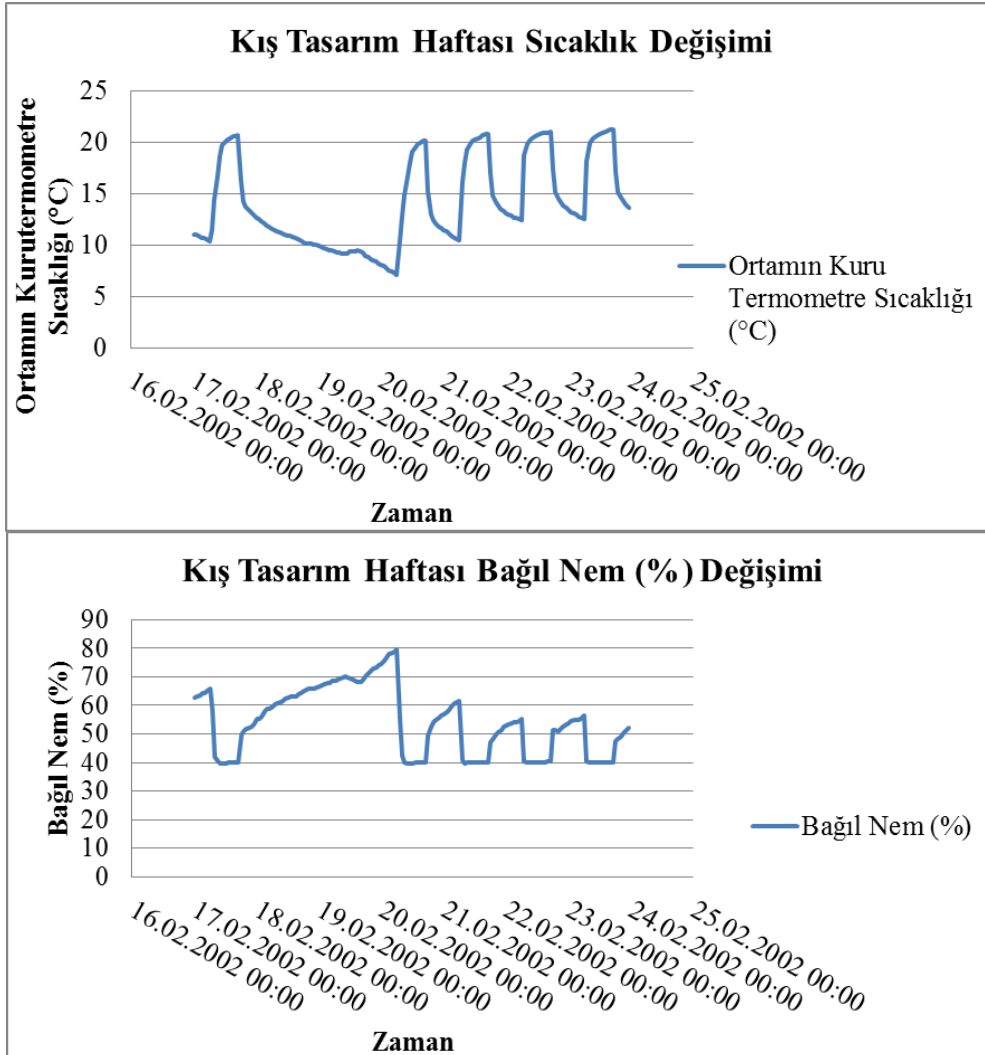
	Alan (m ²)	Hacim (m ³)	Toplam alandaki payı (%)
Atölyeler	2324,82	8674,45	5,4
Bilgisayar odaları	255,36	919,29	0,6
Derslikler	3234,72	12147,9	7,5
Diğer/Kullanılmayan alanlar	4223,24	14832,03	9,7
Kafeterya/Dinlenme alanları	736,88	3503,15	1,7
Kırtasiye	30,43	85,2	0,1
Koridorlar ve Holler	5590,44	22311,06	12,9
Kütüphane	554,7	2885,72	1,3
Laboratuvarlar	4848,81	18322,92	11,2
Ofisler	5382,42	19657,08	12,4
Toplantı/konferans salonları	469,02	2418,39	1,1
Tuvaletler	546,34	1857,23	1,3
Yeme-içme/Dinlenme alanları	481,91	1966,62	1,1
İklimlendirilen	28679,07	109581,05	66,1
İklimlendirilmeyen	14736,12	28669,75	33,9
Toplam	43415,19	138250,81	%100

4.2 Kış Tasarım Haftası Simülasyon Sonuçlarının İncelenmesi

Hazırlanan bina 3D modeli kullanılarak binanın kış tasarım günü için hesaplamaları Energy Plus ile gerçekleştirilmiştir.

Simülasyon ile elde edilen sonuçlar binanın tamamını, her zon bölgesini ve kullanılan HVAC sisteminin çeşitli bileşenlerini kapsamaktadır. Analizlerde binadaki tüm ortak ve bireysel hacimler incelenmesine rağmen bu bölümde simülasyon sonuçları üzerinde gerçekleştirilen incelemelere bir örnek olarak A501 dersliği için elde edilen genel sonuçlar incelenecektir.

Ortamın kuru termometre sıcaklığının ve bağıl neminin zamana göre değişimi design builder ve energy plus yardımıyla oluşturularak Şekil 3'te incelenmiştir. 3D modele uygulanan radyatörlü ısıtma sisteminin çalışma programına uygun olarak, kalorifer sisteminin çalıştığı saatlerde iç ortam sıcaklığının genellikle 20 °C sıcaklığın üzerine çıkabildiği gözlemlenmektedir. Fakat kalorifer sisteminin 24 saatten uzun bir süreden sonra ilk defa devreye alındığı durumlarda söz konusu bölge ayar sıcaklığına gecikmeli olarak ulaşabilmektedir. Bu durum, özellikle dış kabuk kütlesi çok yüksek olan binanın ısı değişimlere karşı ataletini ortaya koymaktadır.



Şekil 3. A501 dersliğinin analize göre 17-23 Şubat arası kış tasarım haftası boyunca kuru termometre sıcaklığı ve bağıl neminin saate bağlı değişimi.

Tablo 7. Analiz sonuçlarına göre kış tasarım haftası boyunca saat 15.00'te gerçekleşen kuru termometre sıcaklıkları ve bağıl nemleri.

Gün/Saat	Ortamın Kuru Termometre Sıcaklığı (°C)	Bağıl Nem (%)
Pazartesi	19,97	39,88
Salı	20,66	39,97
Çarşamba	20,94	40,14
Perşembe	21,11	39,97
Cuma	20,53	39,95
Cumartesi	10,72	63,17
Pazar	9,45	68,14

Tablo 7'de görüldüğü gibi hafta içi maksimum iç ortam sıcaklıkları 20 °C civarında ve bağıl nem değerleri ise %40 civarında seyretmiştir. Binanın kullanım amacının eğitim ve ofis olduğu göz önünde bulundurulduğunda ve de buna bağlı olarak insan metabolizmasının düşük ve de giyiminin çok olacağı kabul edildiğinde ASHRAE 55'in Comfort Zone Method grafiğine göre elimizde olan mevcut sıcaklık ve bağıl nem oranlarının konfor bölgesinin dışında kaldığı görülmektedir. Bina'nın mevcut durumuyla kış şartlarında yaşam alanları için gerekli olan değerlere ulaşamamaktadır [6].

Kış şartları altında ısı kayıpları en çok hava sızması (infiltrasyon) ve dış duvar ve tavan yoluyla iletim, taşınım ve ışınlama ile ısı geçişleri sebebiyle gerçekleşmektedir. Bina'nın ısı enerjisi kaybının %24,75'i, dış duvarlardan, %23,45'i tavanlardan ve %41,04'ü infiltrasyon ile gerçekleşmiştir. İnfiltrasyonun bu derece yüksek olmasının en büyük sebeplerinden biri A501 dersliğinin dışa bakan duvarlarındaki pencere sayısının fazlalığı ve dersliğin dış cephe yönünün kuzeybatıya bakmasından dolayı meydana gelmektedir. Dış duvar kayıpları da bina'nın yapı özelliklerinden ve de bina yönünden etkilendiği görülmektedir. Amfinin üst katının çatı arası olması ve iklimlendirilmiyor oluşu da tavadan kaybolan ısı'nın en büyük etmenlerinden biridir.

Tablo 8. Kış tasarım haftası boyunca gerçekleşen ısı kayıpları.

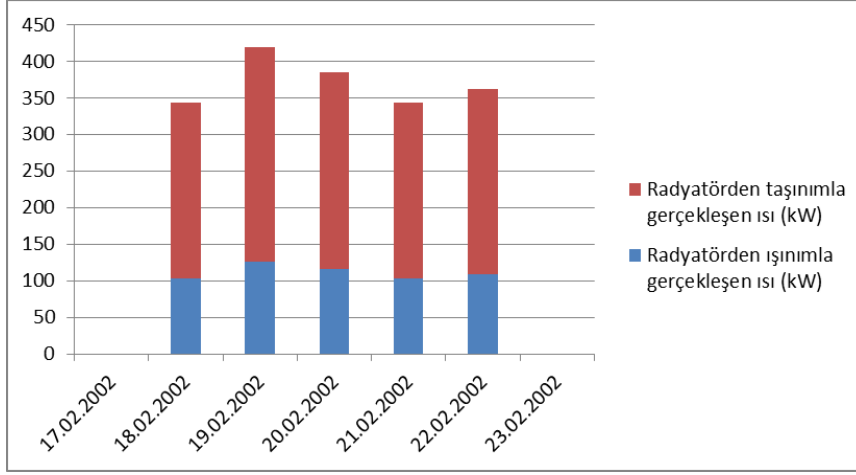
Yapı elemanı	Isı enerjisi kaybı (kWh)
Dış duvarlar	409,08
İç duvarlar ve kapı	65,10
Taban/döşeme	112,65
Tavan	387,70
İnfiltrasyon yoluyla	678,45
Toplam	1652,98

A501 dersliğinde kış tasarım haftası boyunca gerçekleştirilen etkinliklerin bir sonucu olarak insanlardan ve iç aydınlatma aygıtlarından kaynaklanan bir ısı kazancı mevcuttur. Ayrıca güneş enerjisi kazancı da önemli bir ısı kazanç faktörüdür. Kış şartlarındaki ısı kazancı miktarının %38,48'i insan duyulur ısı kazancı ve %33,98'i güneş ışınlama ile oluşmuştur.

Tablo 9. Kış tasarım haftası boyunca gerçekleşen ısı kazançları.

Isı kazanç faktörü	Isı enerjisi kazancı (kWh)
Aydınlatma	21,89
Güneş ışınlama	114,33
İnsan (Duyulur ısı)	129,48
İnsan (Gizli ısı)	70,76
Toplam	336,46

Radyatörler, yüzeylerinin sıcaklığının ortamın sıcaklığından daha yüksek olması nedeniyle ortama ışıınım yolu ile ısı verirken, üzerinden geçmekte olan hava akımından taşınım yolu ile ısı verirler. Programa işlenen çalışma verileri nedeniyle doğalgaz kazanlarının hafta sonu çalıştırılmadıkları gözlemlenebilmektedir. Ayrıca ortama verilen ısının %70'i taşınım yoluyla gerçekleşmiştir.

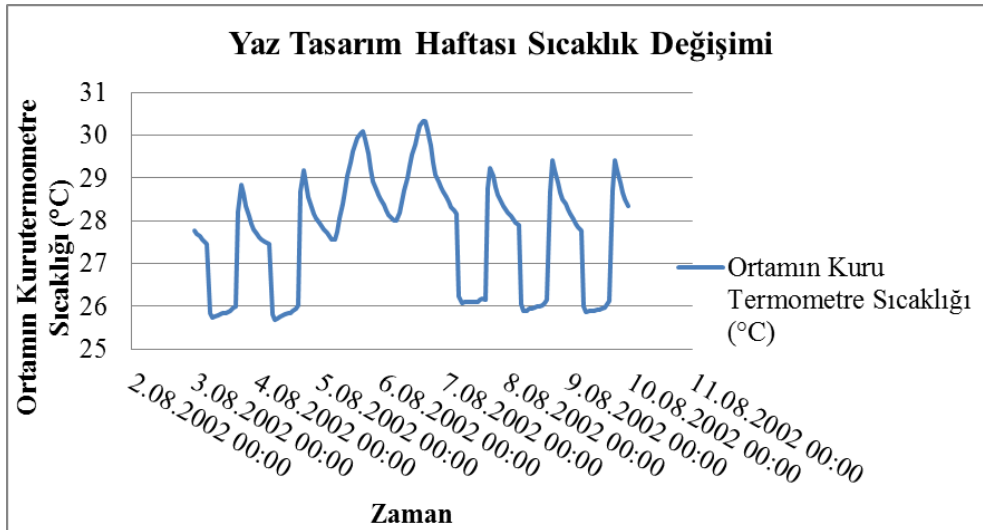


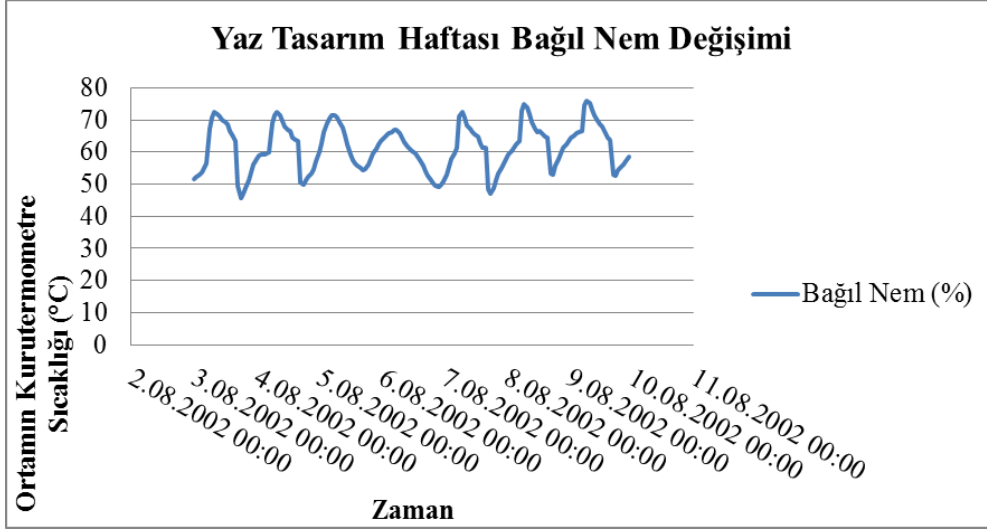
Şekil 4. A501 dersliğinin kış tasarım haftası boyunca radyatörlerin ışıınım ve taşınım ile ortama verdiği ısı miktarları.

4.3 Yaz Tasarım Haftası Simülasyon Sonuçlarının İncelenmesi

Bina 3D modelinde soğutma sistemi bulunmadığından bu faktör sonuçlara gözle görülür biçimde yansımaktadır. Kış tasarım haftası için yapılan incelemeyle karşılaştırılabilmesi açısından bölge olarak A501 dersliği incelenmiştir.

Ortam havasının kuru termometre sıcaklığı ve bağıl neminin saatlik dağılımı design builder ve energy plus enerji analizi sonuçlarına göre Şekil 5'te yer almaktadır. Bu grafikten de anlaşılacağı üzere sıcaklık gün içinde artan ve akşam saatleri ile birlikte azalan bir eğri gözlenmektedir ve saat 17:00'de o günün en yüksek değerine ulaşmaktadır. Bağıl nem ise konfor değerlerinin üzerinde seyretmektedir. Sıcaklık artışlarına paralel olarak bağıl nemde gözlemlenen düşüşler sıcaklık ile birlikte havanın nem kapasitesinin artması sonucu oluşmaktadır.

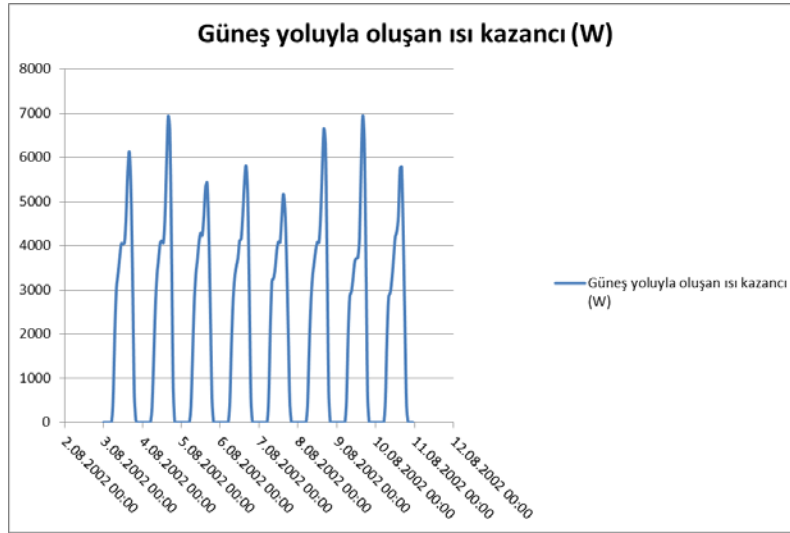




Şekil 5. A501 dersliğinin analiz sonuçlarına göre 3-9 ağustos yaz tasarım haftası boyunca kuru termometre sıcaklığı ve bağıl neminin saate bağlı değişimi.

Şekil 5'te görüldüğü gibi hafta içi maksimum sıcaklıkları 26 ila 30°C ve bağıl nemleri %50 ila %70 arasında seyretmiştir. Binanın kullanım amacına bağlı olarak ASHRAE 55'in Comfort Zone Method grafiğine göre elimizde olan mevcut sıcaklık ve bağıl nem oranlarının konfor bölgesinin dışında kaldığı ve binanın mevcut durumuyla yaz şartlarında konfor şartlarına ulaşamadığı gözlenmektedir [6].

Pencerelerden güneşin ışınımı dolayısıyla ortama geçen ısı miktarı aşağıdaki grafikte belirtilmiştir. Yaz mevsimi için gösterilen bu değerlerin kış mevsimi için verilmiş değerlerden yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 6. A501 dersliğinin 3-9 ağustos yaz tasarım haftası boyunca güneş ışınımı kaynaklı ısı kazancının saatlik değişimi.

A501 dersliği için yaz tasarım haftası boyunca gerçekleşen ısı enerjisi kazançları incelenmiştir. Bu karşılaştırma, güneş ışınımının yaz mevsimi için en büyük ısı kazanç etkeni olduğu sonucunu ortaya koymaktadır. Zira, kış tasarım haftası analizinde güneş ışınımı faktörünün payı %34 iken, yaz tasarım haftasında bu oranın %70,7'ye yükseldiği görülebilmektedir. Dolayısıyla, soğutma enerjisi ihtiyacının azaltılabilmesi için gölgeleme elemanlarının kullanımı büyük önem taşımaktadır. Tablo 10'da ısı kazançlarına ilişkin detaylar verilmiştir.

Tablo 10. Yaz tasarım haftası boyunca gerçekleşen ısı kazançları.

Isı kazanç faktörü	Isı enerjisi kazancı (kWh)
Güneş ışınımı	346,27
İnsan (Duyulur)	64,92
İnsan (Gizli)	39,12
İnfiltrasyon (Duyulur)	35,34
Aydınlatma	4,38
Toplam	490,04

4.4 Yıllık Simülasyon Sonuçlarının İncelenmesi

Tasarım haftaları için gerçekleştirilen incelemelerin yanı sıra genel bir inceleme ve doğrulama gayesiyle yıllık analizin sonuçları da irdelenmiştir. Öncelikle bina dış yüzey (kabuk) elemanlarından gerçekleşen ısı kayıpları ele alınmıştır. Ayrıca insan, makina, aydınlatma ve güneş enerjisi kazançları incelenmiştir. Binanın aylık ve toplam enerji tüketimi analiz edilmiş ve oluşturulmuş modelin gerçek durumu ne kadar doğru bir biçimde yansıttığının kontrol edilmesi amacıyla Makina Fakültesi'nin doğalgaz harcaması ile ilgili veriler, bina modelinin doğalgaz tüketimi ile karşılaştırılmıştır.

Binanın iklimlendirilen bölgelerini çevreleyen dış yüzey yapı elemanlarından gerçekleşen yıllık ısı kayıpları, simülasyon yardımıyla elde edilmiştir. Bina kabuğuna dahil olan elemanlar iklimlendirilen bölgelere ait dış duvarlar, pencereler, dış kapılar, toprak ve ısıtılmayan hacim temaslı döşeme ve çatı aralarına temaslı tavanlar olarak alınmıştır ve ayrıca infiltrasyon ile gerçekleşen ısı kaybı da eklenmiştir. Görüldüğü üzere binanın yapısından ve de hacimsel olarak büyük oluşundan dolayı ısı kayıpları çok yüksektir fakat iklimlendirilen alan ve hacim miktarı başına kayıplar incelendiğinde sonuçlar daha anlaşılabilir. Isı kayıplarının %69,6'sı infiltrasyon, %23,94'i ise dış duvarlardan gerçekleşmektedir.

Tablo 11. Bina kabuğundan gerçekleşen yıllık ısı enerjisi kaybı.

Binadaki yapı elemanları	Isı enerjisi kaybı (kWh/yıl)
Dış Duvar ¹	553451,93
Döşeme ²	78330,81
Tavan ³	71584,82
İnfiltrasyon	1608118,86
Isı kaybı toplamı	2311486,42
Isı kaybı toplamı (kWh/m ² ·yıl) ⁴	80,60
Isı kaybı toplamı (kWh/m ³ ·yıl) ⁵	21,09

1-Dış kapılar ve pencereler dahil.
2-Toprak temaslı ve ısıtılmayan hacim üstü taban/döşeme
3-Isıtılmayan hacme bitişik tavan
4-İklimlendirilen alan başına ısı kaybı toplamı
5-İklimlendirilen hacim başına ısı kaybı toplamı

Isı kayıplarının anlaşılabilir olması için binada bulunan radyatörlerden yayılan ısı enerjisinin gözlemlenmesi önemlidir. Kış aylarında bariz olarak bu değer artmıştır.

Tablo 12. Binada bulunan mevcut ısıtma sisteminden mahallere verilen ısı enerjisi.

Ay / Yıl	Radyatörlerden Gelen Isıl Enerji Miktarı (kWh/ay)
Ocak	380618,53
Şubat	244820,55
Mart	440098,39
Nisan	184959,55
Mayıs	67420,39
Haziran	5230,17
Temmuz	11,83
Ağustos	9,55
Eylül	2836,89
Ekim	65779,85
Kasım	255420,08
Aralık	387536,67
Toplam (kWh/yıl)	2034742,45

Yıllık simülasyon sonucunda bina genelinde gerçekleşen ve insan, makina, aydınlatma, infiltrasyon gibi etkenlerden kaynaklanan iç ısı kazançları ve güneş enerjisi kazançları belirlenmiştir. Bina genelinde ısı kazançlarının %40,2'si infiltrasyon, %28,14'i güneş ışınlımı yoluyla gerçekleşmektedir.

Tablo 13. Gerçekleşen yıllık ısı enerjisi kazancı.

Isı kazanç faktörü	Isı enerjisi kazancı (kWh/yıl)
Aydınlatma	414144,09
Ekipman	460448,99
İnsan (Duyulur ısı)	238263,02
İnsan (Gizli ısı)	167333,24
Güneş ışınlımı	1136978,47
İnfiltrasyon	1624020,66
Isı kazançları toplamı	4041188,46

4.5 Yıllık Bina Simülasyonuna VRF ve Klima Santrali Uyarlanması

Gerekli ısıtma ve soğutma yükünü karşılayabilmek ve tüketim sonuçlarını görebilmek amacıyla bina 3D modeline havalandırma ve VRF sistemleri uygulanmıştır. Mevcut ısıtma sisteminin mahal konfor şartlarını sağlayamaması nedeniyle klima santrali seçiminde ön ısıtma ve nemlendirme üniteleri seçilmiştir. Aynı zamanda taze hava ihtiyacını karşılayabilmek amacıyla besleme ve egzoz fanı ve iç üniteleri modele yerleştirilmiştir. Yaz mevsiminde sadece soğutmaya karşılayabilmek amacıyla VRF iç ve dış ünite uygulaması model üzerinde yapılmıştır. Klima santrali ve VRF sisteminin soğutma ve ısıtma yükleri ve elektrik tüketim miktarları simülasyon gerçekleştirilerek incelenmiştir ve aşağıdaki tablolarda sonuçlar verilmiştir.

Kış aylarında konfor şartlarının sağlanabilmesi amacıyla mevcut radyatörlere ek olarak ön ısıtmalı klima santrali eklenmiştir. Ön ısıtma ile mahallere verilen toplam ısıtma yükünün %1,94'ü mertebesinde olup mevcut ısıtma sistemi bina ısıtma yükünün %98,1'ini karşılamaktadır.

Tablo 14. Modele eklenen klima santrali ön ısıtmasından verilen ısıl enerji miktarı

Ay / Yıl	Mevcut Isıtma Sisteminden Gelen Isıl Enerji Miktarı (kWh/ay)	Klima Santrali ile Verilen Isıl Enerji (kWh/ay)	Toplam Isıl Enerji Miktarı (kWh/ay)
Ocak	380618,53	9612,04	390230,57
Şubat	244820,55	18850,65	263671,20
Mart	440098,39	7323,80	447422,20
Nisan	184959,55	237,96	185197,51
Mayıs	67420,39	0,00	67420,39
Haziran	5230,17	0,00	5230,17
Temmuz	11,83	0,00	11,83
Ağustos	9,55	0,00	9,55
Eylül	2836,89	0,00	2836,89
Ekim	65779,85	0,00	65779,85
Kasım	255420,08	639,89	256059,97
Aralık	387536,67	2777,48	390314,15
Toplam (kWh/yıl)	2034742,45	39441,82	2074184,27

Isı kazançları açısından binaya uygulanan VRF sisteminin etkisi de incelenmiştir. Tablo 14'de VRF aylık soğutma yükleri verilmektedir.

Tablo 15. VRF iç ünitelerinin gerçekleştirdiği soğutma miktarları.

Ay / Yıl	VRF Toplam Soğutma Miktarı (kWh/ay)
Ocak	3944,65
Şubat	1863,61
Mart	7253,17
Nisan	12172,93
Mayıs	28744,57
Haziran	91419,28
Temmuz	191530,58
Ağustos	184124,14
Eylül	88303,36
Ekim	32229,58
Kasım	11058,17
Aralık	6849,74
Toplam (kWh/yıl)	659493,78

Bina modeline dahil edilen ısıtma ve soğutma sistemlerinin elektrik ve doğalgaz tüketimlerine ilişkin genel sonuçlar Tablo 16 da verilmektedir. Elektrik tüketiminin büyük bir kısmı ısıtma ve soğutma sistemleri için kullanılmaktadır. Tablo 15'te de görüldüğü üzere modele uygulanan klima santrali besleme ve egzoz fanları (%64,93) ve nemlendirme üniteleri (%23,12) en çok elektrik tüketimini gerçekleştiren ekipmanlardır. Simülasyon sonucu toplam bina elektrik tüketiminin %26,51'i klima santrali ve VRF sistemleri tarafından tüketildiğini göstermiştir.

Tablo 16. Isıtma ve soğutma ekipmanlarının yıllık elektrik tüketimi.

Isıtma ve Soğutma Ekipmanları	Yıllık Elektrik Tüketimi (kWh/yıl)
VRF Isı Pompası	294629,92
VRF İç Ünite Fanı	1605,98
Klima Santrali Besleme ve Egzoz Fanı	1616541,98
Klima Santrali Nemlendirme	575538,31
Radyatör Isıtma Devresi Sirkülasyon Pompası	1234,63
Toplam	2489550,83

Tablo 17. Binanın toplam elektrik tüketimi.

	Binanın enerji tüketimi (kWh/ay)		
	Doğalgaz tüketimi	Elektrik tüketimi	
		HVAC harici	HVAC
Ocak	418732,4563	259983,88	76844,33
Şubat	299505,0282	249727,39	76876,85
Mart	478355,494	262760,68	89889,59
Nisan	193714,3952	203174,18	69171,60
Mayıs	70018,57705	170001,08	70057,53
Haziran	5822,584149	177360,84	68614,05
Temmuz	221,8277523	192146,61	54911,65
Ağustos	366,6894704	184742,67	69556,42
Eylül	3331,907343	196526,30	72775,06
Ekim	68150,92162	180807,96	77980,83
Kasım	268287,0132	198513,07	86567,26
Aralık	412861,1598	213806,17	84919,89
Toplam (kWh/yıl)	2219368,054	3387715,89	

SONUÇ

Çalışma kapsamında İTÜ Makina Fakültesi binasının enerji performansına ilişkin çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarda, bir bina enerji ve performansını inceleme programı olan EnergyPlus kullanılmıştır. Binanın üç boyutlu olarak modellenmesinde, binaya ilişkin detaylı verilerin oluşturulmasında EnergyPlus'a yardımcı bir ara yüz olan DesignBuilder kullanılmıştır. Elde edilen simülasyon sonuçları ile binanın enerji performansını belirleyen tüm parametreler değerlendirilmiştir. Binaya uygun bir HVAC sistemi tasarlanmış ve ayrıca aylık ve yıllık enerji tüketimi incelenmiştir.

Makina Fakültesi gibi büyük ve eski yapıların modellenmesinde sıkça karşılaşılan güçlük, tüm yapısal bilgilerin ve etkinlik verilerinin toplanması aşamasındadır. Çalışmanın bu ilk aşaması, oluşturulan modelin ve gerçekleştirilecek simülasyonların doğruluğu bakımından büyük önem taşımaktadır. Bu sebeple binaya ilişkin mimari verilerine doğruca ulaşmak büyük önem arz etmektedir.

Binanın enerji analizinde, kış tasarım haftası, yaz tasarım haftası ve yıllık simülasyon periyotları belirlenmiştir ve gerçekleştirilen bütün incelemelerde bu simülasyonlardan elde edilen sonuçlar kullanılmıştır ve mevcut bina işletme şartlarında bina saatlik iç ortam konfor şartlarının ASHRAE.55'e uygun olmadığı sonucuna varılmıştır.

Bina modeli üzerinde yapılan analizler sonucunda mevcut kurulu sistem ile dersliklerde ve ofislerde ısı konfor şartlarına ulaşamadığı görülmüş ve farklı iklimlendirme tasarımının gerekliliği ortaya

konulmuştur. Bu çalışma kapsamında klima santrali ve VRF klima sistemi içeren iklimlendirme tasarımının, bina ihtiyaçlarını karşılayabilmekle beraber tasarım aşamasında yapılan araştırmalar sonucunda fakülte binası gibi birçok hacimden oluşan binalar için sıkça uygulanan bir çözüm olduğu görülmüştür.

Fakülte binasının iklimlendirilmesi için gereken ısıtma, soğutma ve elektrik yüklerinin bina boyutları ve kullanımı nedeniyle yüksek değerlerde olduğu da analiz sonuçlarında görülmektedir. Özellikle sızan hava ile ısı kayıp ve kazançları iklimlendirme üzerindeki yükü çok yüksektir. Bu da binanın optimum analiz koşullarında bile hava sızıntı miktarının fazla olduğunu göstermektedir. Binanın mimari açıdan diğer özelliği ise pencere yoğunluğudur. Yüksek ve geniş pencereler kış aylarında güneşten ısıyı yoluyla gelen ısıyı kazandırır da yaz aylarında bina için bir yük haline dönüşmektedir ve gölgelendirme yapılması yaz ayları için büyük bir önem taşımaktadır. Sürdürülebilirlik açısından, enerji tüketimi ve CO₂ salımı düşük yapıların ve iklimlendirme sistemlerinin tasarımı oldukça önemlidir. Bu açıdan, iklimlendirme yapılırken ısıtma ve soğutma yüklerini azaltmak amacıyla binanın restore edilmesi ve gölgelendirme elemanlarına özen gösterilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Küçükyalı, R., “Enerji Ekonomisi”, Isısan Çalışmaları No:351,2005.
- [2] McDowall, R., “Fundamentals of HVAC: SI Edition, Elsevier, Boston, MA, 2007.
- [3] TS-825, “Binalarda ısı yalıtım kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2008.
- [4] <http://tanitim.itu.edu.tr/images/librariesprovider51/gumussuyu/1.jpg>, alındığı tarih 15.01.2017
- [5] ASHRAE Handbook – Fundamentals (SI Edition), “Thermal Comfort”, American Society of Heating, Ventilating and Air Conditioning Engineers, Atlanta, GA, 2013.
- [6] ASHRAE Standard 55, “Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy”, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, GA,2010.

ÖZGEÇMİŞ

Nurdil ESKİN

Boğaziçi Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünden önce lisans, daha sonra Y. Lisans diplomalarını alarak 1981 yılında Yüksek Makina Mühendisi olarak mezun olmuştur. 1982-1990 yılları arasında önce Parsons-Brinkerhoff TSB şirketinde İstanbul Metro ve Tüp Geçit Projesi'nde makina mühendisi olarak çalışmış, daha sonra farklı firmalarda özellikle metro ve raylı taşıma sistemlerinde havalandırma, iklimlendirme, drenaj ve yangın güvenliği konularında mühendis ve proje müdürü olarak görev almıştır.

1990 yılında İTÜ Makina Mühendisliği programında “Akışkan Yataklı Kömür Yakıcısı Modeli ve İkinci Kanun Analizi” başlıklı tezi ile Doktora derecesini almıştır. 1997 yılında Doçent, 2004 yılında Profesör unvanını almıştır. İTÜ Makina Fakültesi'nde bölüm başkan yardımcılığı, Yüksek lisans ve Doktora programları Koordinatörlükleri gibi çeşitli idari kademelerde görev almış, 2008-2011 yılları arasında Akademik işlerden sorumlu Dekan Yardımcılığı görevini yürütmüştür.

TÜYAK Vakfı kurucu üyesi ve yönetim kurulu üyesi de olan Prof.Dr. Eskin'in İki-Fazlı Akışlar, HVAC, Yangın Güvenliği, Isı Tekniği Uygulamaları, Akışkan Yataklı Kazanlar, Binalarda Enerji Verimliliği, Yoğuşma Modelleri ve Analizleri, Yeraltı kömür gazlaştırma konularında yazılmış ve yayınlanmış kitap, kitap bölümleri, bilimsel rapor, ulusal ve uluslararası makale ve bildirimler olmak üzere 150 den fazla yayını., “A Cooling Device and a Phase Separator Utilized Therein” isimli buluş ile Yaratıcı (Inventor) ve Kullanıcı (Applicant) olarak dünya patenti vardır. Prof.Dr. Nurdil ESKİN halen İTÜ Makina Fakültesinde Profesör olarak görev yapmaktadır.

**Mesut GÜR**

Makina Mühendisliği Bölümünü Sakarya Üniversitesinde, Proses Yüksek Mühendisliği bölümünü 1986 yılında Almanya'da Hamburg/Harburg Teknik Üniversitesi'nde ve Doktorasını Almanya'da 1992 yılında Clausthal Teknik Üniversitesi'nin Makine Mühendisliği Termodinamik Anabilim dalında tamamladı. Sırasıyla 1994 te Doçentlik ve 1999 yılında Profesörlük unvanını aldı ve halen İTÜ-Makine Mühendisliği bölümünde öğretim üyesi olarak çalışmaktadır. 2004-2005 yıllarında Amerika'da Pittsburgh Üniversitesinde Misafir öğretim üyesi olarak süper iletkenlerin soğutulması konusunda araştırmalar yaptı. Araştırma konularının başında yanma/gazlaştırma teknikleri, proses tekniği, kurutma ve endüstriyel fırınlar, mikro kanallar, fan ve pompalar, ısıtma-soğutma ve havalandırma teknolojileri gelmektedir.

Işıl ÖZKAYA

1992 yılında Adana'da doğdu. Lise eğitimini Abbas-Sıdika Çalık Anadolu Lisesi'nde 2006-2010 yılları arasında tamamladı. İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünü 2016 yılında bitirdi. 2016 yılı kasım ayından itibaren Daikin Isıtma ve Soğutma Sistemleri San. Tic. A.Ş' de AR-GE departmanında Isıtma Ar-Ge Mühendisi olarak hala çalışmaktadır.

Çağrı CÖMERT

1992 yılında Kahramanmaraş'ın Elbistan ilçesinde doğdu. İlköğretim ve lise eğitimini Özel İlkem Güneş Koleji'nde tamamladı. 2016, Haziran ayında lisans eğitimini İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği'nde tamamladı. Şu anda SmartEcoDesign firmasında LEED sertifikasyon süreci dâhilinde bina simülasyonu çalışmaları yürütmektedir.

Alperen YILDIZELİ

1994 yılında İstanbul'un Üsküdar ilçesinde doğdu. İlköğrenimini Marmara Adası İlköğretim Okulu ve Hasan TAN İlköğretim Okulu'nda tamamladı. Lise eğitimini Üsküdar Lisesi'nde tamamladıktan sonra yükseköğrenimine Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde başladı. Üniversitedeki birinci yılının sonunda İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümüne yatay geçişle kayıt yaptırarak yükseköğrenimini bu kurumda tamamladı. Ardından Yüksek Lisans eğitimine yine İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim dalında Isı-Akışkan bölümünde başladı. Halen devam etmektedir.