T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SOĞUTMA PROSESİ SIRASINDA EC FAN COIL'İN DENEYSEL OLARAK ELDE EDİLEN ISIL PERFORMANSININ VE KAPASİTESİNİN YAPAY SİNİR AĞLARI İLE SAYISAL TAHMİNİ

Burak UĞUZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Isı Proses Programı

Danışman

Doç. Dr. Zafer GEMİCİ

Eş Danışman

Doç. Dr. Andaç Batur ÇOLAK

Haziran, 2024

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SOĞUTMA PROSESİ SIRASINDA EC FAN COIL'İN DENEYSEL OLARAK ELDE EDİLEN ISIL PERFORMANSININ VE KAPASİTESİNİN YAPAY SİNİR AĞLARI İLE SAYISAL TAHMİNİ

Burak UĞUZ tarafından hazırlanan tez çalışması 29.06.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Isı Proses Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Zafer GEMİCİ Yıldız Teknik Üniversitesi Danışman	Doç. Dr. Andaç Batur ÇOLAK İstanbul Ticaret Üniversitesi Eş-Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Zafer GEMİCİ, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Ahmet Selim DALKILIÇ, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Abdulkerim OKBAZ, Üye
Doğuş Üniversitesi _____

Danışmanım Doç. Dr. Zafer GEMİCİ sorumluluğunda tarafımca hazırlanan "Soğutma Prosesi Sırasında EC Fan Coil'in Deneysel Olarak Elde Edilen Isıl Performansının ve Kapasitesinin Yapay Sinir Ağları ile Sayısal Tahmini" başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Burak UĞUZ

İmza

Bu çalışma, ayrıca Alarko Carrier Sanayi ve Ticaret A.Ş Ar-Ge departmanı klima bölümü tarafından desteklenmiştir.

Başta aileme

ve

değerli eşime

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam kapsamında bilgi ve deneyimleriyle bana yol gösteren, desteklerini asla esirgemeyen başta danışman hocam Doç. Dr. Zafer GEMİCİ, eş danışman hocam Doç. Dr. Andaç Batur ÇOLAK ve çalışmalarımda destekte bulunan Prof. Dr. Ahmet Selim DALKILIÇ'a teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca tez savunma sınavımda sayın üyemiz Doç. Dr. Abdulkerim OKBAZ'a da teşekkürlerimi sunarım.

Tez sürecimde çalışmalarımda katkıda bulunan Alarko Carrier Sanayi ve Ticaret A.Ş Ar-Ge departmanına teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her alanında, zorlu süreçlerinde her zaman bana güvenen ve yanımda olan sevgili aileme teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım boyunca bana her zaman göstermiş olduğu desteği ve anlayışı için her daim yanımda hissettiğim değerli eşim Sema UĞUZ'a ayrıca teşekkürlerimi ve minnetlerimi sunarım.

Burak UĞUZ

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ viii
KISALTMA LİSTESİ x
ŞEKİL LİSTESİ xi
TABLO LİSTESİ xiv
ÖZET xv
ABSTRACT xvii
1 GİRİŞ 1
1.1 Tezin Amacı ve Kapsamı 2
2 LİTERATÜR ARAŞTIRMASI 3
2.1 Fan Coil Üniteleri Üzerine Yapılan Çalışmalar 3
2.2 HVAC+R Sektöründe Yapay Sinir Ağı Modelleme Çalışmaları 5
3 DENEYSEL ÇALIŞMALAR 11
3.1 Deneysel Çalışmaların İçeriği 11
3.2 Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Fan Coiller 12
3.3 Deney Odası ve Deney Düzeneği 17
3.3.1 Deney Odası 17
3.3.2 Deney Düzeneği 21
3.4 Deney Şartları 26
3.5 Deneylerde Kullanılan Ölçüm Aletleri 27
3.6 Deneylerin Yapılışı 31
3.6.1 Fan Coil Hava Debisi Deneyleri 32
3.6.2 Isıl Kapasite Deneyleri 35
4 DENEY VERİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ 40
4.1 Fan Coil Hava Debisinin Hesaplanması 40
4.2 Fan Coil Soğutma Kapasitesinin Hesaplanması 42
4.3 Belirsizlik Analizi 43
4.3.1 Fan Coil Hava Debisi Deneylerinin Belirsizlik Analizi 44
4.3.2 Fan Coil Isıl Kapasite Belirleme Deneylerinin Belirsizlik Analizi 46
5 SAYISAL MODEL 48
5.1 YSA Modeli Geliştirme 48
5.1.1 YSA Model 1 49

5.1.2 YSA Model 2……50
5.1.3 YSA Model 3……51
5.1.4 YSA Model 4……52
5.2 YSA Modellerinin Doğrulanması……54
5.3 YSA Model Sonuçları……55
5.3.1 YSA Model 1 Sonuçları……55
5.3.2 YSA Model 2 Sonuçları……58
5.3.3 YSA Model 3 Sonuçları……62
5.3.4 YSA Model 4 Sonuçları……64
6 SONUÇ **69**
KAYNAKÇA **71**
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR **75**

SİMGE LİSTESİ

P_a	Atmosfer Basıncı
P_w	Batarya Su Basınç Kaybı
T_g	Bayarya Su Giriş Sıcaklığı
$T_ç$	Batarya Su Çıkış Sıcaklığı
W_R	Belirsizlik Analizi Toplam Hata Oranı
P_e	Fan Güç Tüketimi
T_{a2}	Hava Çıkış Sıcaklığı
V	Hava Hacimsel Debisi
v	Hava Hızı
T_a	Hava Kuru Termometre Sıcaklığı
m	Hava Kütlesel Debisi
ρ	Hava Yoğunluğu
h_u	Havanın Bağıl Nem Değeri
P_{sat}	Havanın Doyma Basıncı
ϑ	Havanın Özgül Hacmi
$P_{w,targ}$	Hedeflenen Batarya Su Basınç Kaybı
$P_{e,targ}$	Hedeflenen Fan Güç Tüketimi
$T_{a2,targ}$	Hedeflenen Hava Çıkış Sıcaklığı
V_{targ}	Hedeflenen Hava Hacimsel Debisi
$Q_{c,targ}$	Hedeflenen Toplam Efektif Soğutma Kapasitesi
D_k	Kanal Hidrolik Çapı
R	Kararlılık Katsayısı
P_v	Kısmi Buhar Basıncı
A	Lüle Alanı
C	Lüle Boşaltma Katsayısı
ΔP	Lüle Fark Basıncı
Y	Lüle Genleşme Faktörü
α	Lüle Giriş ve Çıkış Mutlak Basınç Oranıdır
D	Lüle Çapı
D_l	Lüle Çıkış Hidrolik Çapı

β	Lüle Çıkış Hidrolik Çapının Kanal Hidrolik Çapına Oranı
Re	Reynolds Sayısı
c_p	Suyun Özgül Isısı
ρ_w	Su Yoğunluğu
$P_{w,pred}$	Tahmin Edilen Batarya Su Basınç Kaybı
$P_{e,pred}$	Tahmin Edilen Fan Güç Tüketimi
$T_{a2,pred}$	Tahmin Edilen Hava Çıkış Sıcaklığı
V_{pred}	Tahmin Edilen Hava Hacimsel Debisi
$Q_{c,pred}$	Tahmin Edilen Toplam Efektif Soğutma Kapasitesi
Q_c	Toplam Efektif Soğutma Kapasitesi
Q_{ct}	Toplam Soğutma Kapasitesi

KISALTMA LİSTESİ

AC	Alternatif Akım
ANN	Yapay Sinir Ağı
DBT_1	Hava Kuru Termometre Sıcaklığı Giriş
DBT_2	Hava Kuru Termometre Sıcaklığı Çıkış
DC	Doğru Akım
EC	Elektronik Değişkenli
FCEER	Fan Coil Enerji Etkinlik Oranı
FCCOP	Fan Coil Performans Katsayısı
HVAC	Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme
HVAC+R	Isıtma, Havalandırma ve Soğutma Sistemleri
MLP	Çok Katmanlı Algılayıcı
MoD	Sapma oranı
MSE	Ortalama Kareler Hatası
VAV	Değişken Debili Havalandırma Cihazları
VRF	Değişken Debili Soğutma Sistemleri
WBT_1	Hava Yaş Termometre Sıcaklığı Giriş
WBT_2	Hava Yaş Termometre Sıcaklığı Çıkış
WT_{in}	Su Giriş Sıcaklığı
WT_{out}	Su Çıkış Sıcaklığı
YSA	Yapay Sinir Ağı

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Deneyler sonucunda elde edilen havanın bağıl neminin YSA tahminleri [9] 5

Şekil 2.2 YSA ile oluşturulan kontrol algoritması ile mevcut kontrol algoritmasının yıllık enerji tüketimlerinin karşılaştırılması [10] 6

Şekil 2.3 YSA modellerinin tahminleri ile hedeflenen toplam ısı transfer katsayısı [11] 7

Şekil 2.4 Deneyler sonucu elde edilen soğutma enerji tüketimlerinin YSA modeli ile tahmini [12] 8

Şekil 2.5 Yapılan çalışma sonucu YSA tahminlerinin yüzdesel hata oranları [15] 9

Şekil 2.6 Deneysel olarak elde edilen hava çıkış sıcaklıklarının YSA tahminlerinin hata oranları [16] 10

Şekil 3.1 Carrier 42CT serisi fan coil 12

Şekil 3.2 Carrier 42CT serisi fan coil motoru 15

Şekil 3.3 Carrier 42CT serisi fan coil bataryası 15

Şekil 3.4 Carrier 42CT serisi fan coil fanı 16

Şekil 3.5 Carrier 42CT serisi fan coil fan ve motor ikilisi 16

Şekil 3.6 Carrier 42CT serisi fan coillerde kullanılan filtreler 17

Şekil 3.7 Carrier fan coil test labarauvarı 17

Şekil 3.8 Fan coil test labaratuvarı iç ortamı 18

Şekil 3.9 Soğuk su kaynağı chillerler 19

Şekil 3.10 Fan coil deney labaratuvarı pompa ve vana grubunun fotoğrafı 20

Şekil 3.11 Fan coil deney düzeneğinin şematik gösterimi 1)fan coil, 2)yalıtılmış test düzeneği, 3)redüksiyon bağlantı, 4)akış düzenleyicileri, 5)lüle, 6),7) lüle fark basıncı ölçümü, 8)yardımcı EC fan, 9)atmosfer basıncı ölçüm noktası, 10)ortam havası sıcaklık ve nem ölçüm noktası, 11)fan coil giriş havası ölçüm sıcaklık ölçüm noktası, 12)fan coil giriş havası nem ölçüm noktası, 13)fan coil dış statik basınç kaybı ölçüm noktası 21

Şekil 3.12 Fan coil deney düzeneği 22

Şekil 3.13 Fan coil deney düzeneği redüksiyon kanallar 23

Şekil 3.14 ANSI/AMCA 210-16 standardındaki düzeneğin şematik gösterimi [18] 24

Şekil 3.15 Deney düzeneği akış düzenleyicileri 24

Şekil 3.16 Deney düzeneğinde kullanılan lülelerin fotoğrafı 25

Şekil 3.17 Deneylerde kullanılan güç ölçüm cihazının fotoğrafı 27

Şekil 3.18 Deneylerde kullanılan ayarlı transformatörün fotoğrafı.....28
Şekil 3.19 Deneylerde kullanılan devir (rpm) ölçerin fotoğrafi 28
Şekil 3.20 Deneysel çalışmalarda kullanılan elektromanyetik debimetrenin.....29
Şekil 3.21 Fan coil test labararuvarı ekipmanlarının kontrol ekranı.....33
Şekil 3.22 Fan coil deney şartlarının kontrol ekranı.....36
Şekil 3.23 Fan coil ısıl kapasite deney verilerinin anlık olarak takip edildiği ekran 36
Şekil 3.24 Fan coil deney düzeneği basınç kayıplarının takip edildiği ekran.....37
Şekil 5.1 MLP ağ modelinin şematik gösterimi 48
Şekil 5.2 YSA model 1 ağ yapsının şematik gösterimi 50
Şekil 5.3 YSA model 2 ağ yapsının şematik gösterimi 51
Şekil 5.4 YSA model 3 ağ yapsının şematik gösterimi 52
Şekil 5.5 YSA model 4 ağ yapsının şematik gösterimi 53
Şekil 5.6 Hedeflenen hava debisi sonuçları ile YSA model 1 tahmin sonuçlarının aynı şekil üzerinde gösterilmesi.....56
Şekil 5.7 Hava debisi deney sonuçları ile YSA model 1 sonuçlarının sıfır hata çizgisi üzerinde gösterimi 57
Şekil 5.8 Hava debisi veri noktalarına göre YSA model 1'in sapma oranları**...**57
Şekil 5.9 Hedeflenen hava çıkış sıcaklığı sonuçları ile YSA model 2 tahmin sonuçlarının aynı grafik üzerinde gösterilmesi 58
Şekil 5.10 Hedeflenen toplam soğutma kapasitesi sonuçları ile YSA model 2 tahmin sonuçlarının aynı şekil üzerinde gösterilmesi 59
Şekil 5.11 Hava çıkış sıcaklığı deney sonuçları ile YSA model 2 sonuçlarının sıfır hata çizgisi üzerinde gösterimi.....60
Şekil 5.12 Toplam soğutma kapasitesi deney sonuçları ile YSA model 2 sonuçlarının sıfir hata çizgisi üzerinde gösterimi.....60
Şekil 5.13 Hava çıkış sıcaklığı veri noktalarına göre YSA model 2'nin sapma oranları 61
Şekil 5.14 Toplam soğutma kapasitesi veri noktalarına göre YSA model 2'nin sapma oranları 61
Şekil 5.15 Hedeflenen batarya su basınç kaybı sonuçları ile YSA model 3 tahmin sonuçlarının aynı şekil üzerinde gösterilmesi 62
Şekil 5.16 Batarya su basınç kaybı deney sonuçları ile YSA model 3 sonuçlarının sıfır hata çizgisi üzerinde gösterimi 63
Şekil 5.17 Batarya su basınç kaybı veri noktalarına göre YSA model 3'ün sapma oranları 63
Şekil 5.18 Hedeflenen hava çıkış sıcaklığı sonuçları ile YSA model 4 tahmin sonuçlarının aynı şekil üzerinde gösterilmesi 64

Şekil 5.19 Hedeflenen toplam soğutma kapasitesi sonuçları ile YSA model 4 tahmin sonuçlarının aynı şekil üzerinde gösterilmesi 65

Şekil 5.20 Hedeflenen fan elektrik tüketimi sonuçları ile YSA Model 4 tahmin sonuçlarının aynı şekil üzerinde gösterilmesi 65

Şekil 5.21 Hava çıkış sıcaklığı deney sonuçları ile YSA model 4 sonuçlarının sıfır hata çizgisi üzerinde gösterimi.....66

Şekil 5.22 Toplam soğutma kapasitesi deney sonuçları ile YSA model 4 sonuçlarının sıfır hata çizgisi üzerinde gösterimi.....66

Şekil 5.23 Fan elektrik tüketimi deney sonuçları ile YSA model 4 sonuçlarının sıfır hata çizgisi üzerinde gösterimi 67

Şekil 5.24 Hava çıkış sıcaklığı veri noktalarına göre YSA model 4'ün sapma oranları 67

Şekil 5.25 Toplam soğutma kapasitesi veri noktalarına göre YSA model 4'ün sapma oranları 68

Şekil 5.26 Fan elektrik tüketimi veri noktalarına göre YSA model 4'ün sapma oranları 68

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1 Deneysel çalışmalarda kullanılan fan coillerin özellikleri.....13
Tablo 3.2 Deneysel çalışmalarda kullanılan fan coillerin çalışma sınırları 14
Tablo 3.3 Fan coil soğutma deney koşulları [20].....26
Tablo 3.4 Deneylerde kullanılan ölçüm aletleri.....29
Tablo 3.5 Deneylerde kullanılan ölçüm aletlerinin hassasiyet oranları 30
Tablo 3.6 Fan coil hava debisi deney verileri 33
Tablo 3.7 Fan coil hava debisi örnek deney sonuçları raporu.....34
Tablo 3.8 Fan coil ısıl kapasite(soğutma kapasitesi) deney verileri.....37
Tablo 3.9 Fan coil soğutma kapasitesi deneyleri örnek deney sonuçları raporu...38
Tablo 4.1 Fan coil hava debisi deneyleri belirsizlik analizi sonuçları 45
Tablo 4.2 Fan coil ısıl kapasite deneyleri belirsizlik analizi sonuçları 47
Tablo 5.1 YSA model 1'in girdi ve çıktı parametreleri 50
Tablo 5.2 YSA model 2'nin girdi ve çıktı parametreleri 51
Tablo 5.3 YSA model 3'nin girdi ve çıktı parametreleri 52
Tablo 5.4 YSA model 4'ün girdi ve çıktı parametreleri.....53

ÖZET

Soğutma Prosesi Sırasında EC Fan Coil'in Deneysel Olarak Elde Edilen Isıl Performansının ve Kapasitesinin Yapay Sinir Ağları ile Sayısal Tahmini

Burak UĞUZ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Isı Proses Programı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Zafer GEMİCİ

Eş-Danışman: Doç. Dr. Andaç Batur ÇOLAK

Fan coil cihazları iç mekanların ısıtılması ve soğutulması amacıyla en yaygın olarak kullanılan ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme (HVAC) sistemi cihazlarının başında gelmektedir. Fan coil cihazlarının seçimi ve ihtiyaca göre gerçek çalışma koşullarının belirlenebilmesi iç ortam konforu ve enerji tasarrufu açısından büyük önem arz etmektedir. Bu konuda fan coil ünitelerinin farklı çalışma noktalarındaki performans çıktılarının tahminine yönelik çalışmalar yeterli değildir. Bu çalışmada, gizli tavan tipi bir fan coil'in deneysel olarak 1700 deney noktasından elde edilen termal performansını ve kapasitesini sayısal olarak tahmin etmek için dört farklı yapay sinir ağı (YSA) kullanılmıştır. Deneyler AMCA 210 test standardına uygun olarak tasarlanmış test düzeneğinde ve Eurovent test normlarına uygun iç ortam havası ve ısı değiştirici akışkan rejiminde yapılmıştır. İlk YSA'da 6 farklı girdi parametresine göre hava debisi tahmin edilirken, ikinci YSA'da 5 farklı girdi parametresine göre hava çıkış sıcaklığı ve toplam soğutma kapasitesi tahmin

edilmiştir. Geliştirilen üçüncü YSA'da 5 farklı girdi parametresine göre ısı eşanjörü akışkan tarafı basınç kaybı tahmin edilirken, dördüncü YSA'da 8 farklı girdi parametresine göre hava çıkış sıcaklığı, fan gücü ve toplam soğutma kapasitesi tahmin edilmiştir. Gizli katmanda 10 nöron bulunan ağ modellerinde Levenberg-Marquardt eğitim algoritması kullanılmıştır. Birinci YSA'da hava debisi için ortalama sapma oranı %-0,255 olarak elde edilirken, ikinci YSA'da hava çıkış sıcaklığı ve toplam soğutma kapasitesi için ortalama sapma oranları sırasıyla %-0,195 ve %-0,012 olarak elde edilmiştir. Geliştirilen üçüncü YSA'da suyun basınç kaybı için ortalama sapma oranı %-0,014 olarak elde edilirken, dördüncü YSA'da hava çıkış sıcaklığı, soğutma kapasitesi ve fan gücü için ortalama sapma oranları sırasıyla %+0,045, %-0,014 ve %+0,283 olarak elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fan coil, makine öğrenimi, yapay sinir ağı

ABSTRACT

Numerical Prediction of Experimentally Obtained Thermal Performance and Capacity of EC Fan Coil with Artificial Neural Networks During Cooling Process

Burak UĞUZ

Department of Mechanical Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Zafer GEMICI

Co-supervisor: Assoc. Prof. Dr. Andac Batur COLAK

Fan coil devices are one of the most widely used heating, ventilation, and air conditioning (HVAC) system devices for heating and cooling indoor areas. The selection of fan coil devices and determining the operating conditions according to the needs are of great importance in terms of indoor comfort and energy savings. In this regard, studies on the prediction of fan coil units' performance outputs at different operating points are not sufficient. In this study, four distinct artificial neural networks (ANNs) were used to numerically predict the experimentally obtained from 1700 test points thermal performance and capacity of a concealed ceiling-type fan coil. The experiments were carried out in a test device designed in accordance with the AMCA 210 test standard and in an indoor air and heat exchanger fluid regime in accordance with Eurovent test norms. In the first ANN, the air flowrate was estimated according to 6 different input parameters, while in the second ANN, the air outlet temperature and total cooling capacity were estimated according to 5 different input parameters. In the third developed ANN, the heat exchanger fluid side pressure loss was estimated according to 5 different input parameters, while in the fourth ANN, the air outlet temperature, fan power

and total cooling capacity were estimated according to 8 different input parameters. Levenberg-Marquardt training algorithm was used in the network models with 10 neurons in the hidden layer. While deviation was obtained as %-0,255 for air flowrate, in the first ANN, the air outlet temperature and cooling capacity deviations were obtained respectively as %-0,195, %-0,012 in the second ANN. While deviation was obtained as %-0,014 for fluid pressure loss, in the third developped ANN, the air outlet temperature, cooling capacity and fan power's deviation were obtained respectively as %+0,045, %-0,014, %+0,283 in the fourth ANN.

Keywords: Fan coil, machine learning, artificial neural network

1
GİRİŞ

Günümüzde insanların sağlığı, yaşam kalitesi ve konforu açısından iç ortam hava kalitesi ve iç ortamların şartlandırılmasının önemi günden güne büyümektedir. Yapılan çalışmalara göre insanlar vakitlerinin büyük bir kısmını iç ortamlarda geçirmektedir [1, 2]. İç ortam havası şartlandırılırken tüketilen enerjinin minimum seviyede tutulması gerekmektedir. Fan coil üniteleri iç ortamların ısıtılması ve soğutulması amacıyla ısıtma, soğutma, havalandırma ve iklimlendirme sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Fan coiller özellikle insanların yoğun olarak bulunduğu ofisler, oteller, hastaneler ve yüksek katlı binalarda bağımsız bir ünite veya bir merkezi iklimlendirme sistemi ünitesi olarak kullanılabilmektedir. Fan coil üniteleri bir filtreden geçirdiği iç ortam havasını fan yardımıyla ısı değiştirici üzerinden geçirerek istenilen sıcaklara şartlandırır. Fan coil ünitelerinin seçimi ve ihtiyaca göre gerçek çalışma zamanında koşullarının belirlenebilmesi iç ortam konforu ve enerji tasarrufu açısından önemlidir.

İç ortam konforunun öneminin artması ve teknolojinin gelişmesiyle birlikte fan coil ünitelerinin daha verimli çalışması ve enerji tasarrufunun arttırılmasına yönelik çalışmalar artarak devam etmektedir. Günümüzde üç kademeli AC kontrollü motorlu fan coiller yerine daha hassas kontrol edilebilen, gürültü seviyelerinin daha düşük olduğu ve özellikle enerji tüketiminin daha az olduğu dahili kontrollü EC motorlu fan coillerin kullanımı yaygınlaşmaktadır. Bu sebeplerle bu tez kapsamında yapılan deneysel çalışmalarda EC motorlu fan coiller tercih edilmiştir.

Fan coillerin performansının belirlenmesi ve bağımsız bir kuruluş tarafından standardize edilmesi amacıyla EUROVENT sertifikası alınmaktadır. EUROVENT, Avrupa'da bulunan ülkelerin, klima, soğutma ve havalandırma ekipmanları üreticilerini bir araya getiren bir kuruluştur. Fan coillerin sertifikalandırılabilmesi için belirli standartları karşılaması ve uygun test protokollerine göre değerlendirilmesi gerekmektedir. Bunun için belirlenen deney koşullarında deneyleri gerçekleştirilen fan coillerin önemli performans parametreleri sertifikasyon kuruluşuna deklare edilmektedir. Bu tez kapsamında deneysel çalışmalarda kullanılan fan coiller EUROVENT sertifikalıdır.

Fan coil ünitelerinin performansı ve verimi harcadığı elektrik gücüne karşı sağladığı ısıtma veya soğutma kapasitesine göre belirlenebilmektedir. Bunun için EUROVENT sertifikasyon kuruluşunun belirlediği enerji sınıfı hesaplama yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemde fan coil soğutma kullanımı için fan-coil enerji etkinlik oranı (FCEER), ısıtma kullanımı için fan-coil performans katsayısı (FCCOP) hesaplanmaktadır [3]. Bu sayede tek bir parametre ile farklı fan coillerin karşılaştırılması yapılabilmektedir.

1.1 Tezin Amacı ve Kapsamı

Gereken ısıtma ve soğutma ihtiyacına göre uygun fan coil modelinin seçimi ile tüketilen fan gücü minimum seviyede tutularak enerji tasarrufu yapılabilmektedir. Fan coil ünitelerinin seçim aşamasında ilk yatırım maliyeti, cihaz boyutları, ısıtma ve soğutma kapasitesi, ısı değiştiricisi tipi, motor tipi, ses seviyesi ve elektrik tüketimi gibi birçok parametre dikkate alınmalıdır. Bu parametrelerin birbiri üzerindeki etkisi değerlendirilerek optimum çalışma koşulları belirlenmelidir. Bu değerlendirmeyi yapabilmek için deneysel çalışmaların yapılması ve deney verilerinin elde edilmesi gerekmektedir. Deney verileri ne kadar fazla olursa daha doğru bir yorumlama yapılabilmektedir. Deneysel çalışmaların uzun zaman alması, deney tesisatının her zaman uygunluğunun olmaması, deney yapılması için fan coil ünitelerinin üretilip kullanılması, deney tesisatı ölçüm aletlerinin kalibrasyon süreçlerinde eksiklikleri ve deneyleri gerçekleştirecek operator eksiklikliği gibi nedenlerden ve zorluklardan dolayı her zaman kapsamlı deneysel çalışmalarının yapılması mümkün olmayabilir. Bu çalışma kapsamında gizli tavan tipi, kabinsiz, EC motorlu fan coil ünitelerinin önemli performans parametrelerini elde edebilmek amacıyla hava debisi ve ısıl kapasite(soğutma kapasitesi) deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen veriler ile fan coil ünitesinin hava debisi ve toplam soğutma kapasitesi hesaplanmıştır. Deneysel çalışmalardaki hata oranlarını tespit edebilmek için belirsizlik analizleri yapılmış ve hata oranları belirlenmiştir. Fan coil ünitelerinin deneysel olarak elde edilen termal performansını ve kapasitesini belirleyen önemli parametrelerini sayısal olarak tahmin edebilmek için yapay sinir ağı modelleri oluşturulmuştur. Yapay sinir ağı çözümlemeleri deney sonuçları ile karşılaştırılarak sapma oranları ortaya konulmuştur.

2
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Fan coil üniteleri ile ilgili literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde fan coil ünitesinde enerji verimliliğinin arttırılması, ısı transferinin optimizasyonu, hava dağılımının optimizasyonu ve fan coil kontrol yöntemlerinin geliştirilmesi üzerine çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Aynı zamanda fan coil ünitelerinde deneysel çalışmalar yapılıp sonrasında yapılan sayısal modellemelerle deney sonuçları karşılaştırılmaktadır. Literatürde fan coillere alternatif olabilecek cihazların ortak bir sistem üzerinde davranışlarının karşılaştırılmasının yapıldığı çalışmalarda mevcuttur.

Diğer bir yandan literatürde yapılan yapay sinir ağları modelleme çalışmaları incelendiğinde fan coil üniteleri üzerine yapılan çalışmaların yetersiz olduğu görülmektedir. Bunun yanı sıra HVAC+R sektöründe yapay sinir ağları modelleme çalışmaları ile termal kapasite, basınç düşümleri, ısı transfer katsayısı, enerji tüketimleri, hava debisi, sıcaklığı ve nemi gibi parametreleri tahmin etmek üzerine çalışmalar mevcuttur. Yapılan bu çalışmalarda optimizasyon çalışmaları yapılıp enerji tasarrufu sağlanmaya da çalışılmışır.

Bu bölümde literatürde yapılan araştırmalar fan coil üniteleri üzerinde yapılan çalışmalar ve HVAC+R sektöründe yapay sinir ağları modelleri ile yapılan çalışmalar olmak üzere iki bölümde incelenmektedir.

2.1 Fan Coil Üniteleri Üzerine Yapılan Çalışmalar

Kilian Edwards ve arkadaşları 2021 yılında yaptıkları çalışmada fan devrini azaltmak ve optimize etmek için en az giriş verisi gerektiren bir kontrol algoritması oluşturmuşlardır. Fan coil ünitelerinin kapasitelerini ve elektrik tüketimlerini tahmin edebilmek için farklı kontrol yöntemleri kullanmışlardır. Yapılan çalışmada sabit hız ve kıyaslamalı fan hızı kontrol algoritmaları karşılaştırılmış ve sabit fan hızı algoritmasına göre fan coil bataryasının güç tüketiminde ısıtma modunda ortalama %34, soğutma modunda ortalama %43'lük düşüş olduğu görülmüştür. Kıyaslamalı fan hızı kontrol algoritmalarına göre kontrol algoritmaları %4,9 ile %9,1 tasarruf edilebildiği görülmektedir [4].

Mehmet Emin Dursun 2019 yılında yaptığı çalışmada fan coil üniteleri ile değişken debili soğutma (VRF) sistemlerini aynı proje kapsamında değerlendirip karşılaştırmasını yapmıştır. Bu sistemlerin ilk yatırım maliyetleri, mevsimsel olarak işletme maliyetleri belirlenerek karşılaştırılmıştır. Sistemlerin birbirlerine göre konfor şartları, ses seviyeleri, montaj kolaylığı ve devreye alma konularında dezavantajlarını ve avantajlarını belirlemiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda iklimlendirme ve havalandırma sistemlerinde tercih edilen cihazların verimliliklerinin, binaların mimari özelliklerinin enerji maliyetlerini önemli ölçüde belirlediği görülmüştür [5].

Ho-Chiao ve arkadaşları 2018 yılında yaptıkları çalışmada değişken debili havalandırma cihazları (VAV) ve VRF cihazları ile enerji tasarrufu yapan bir metot önermişlerdir. Ayrıca hava hacimsel debisini ve soğutucu gaz debisini optimize etmek için fan coil ünitesine ve hava soğutmalı soğutma ünitesine değişken hızlı kademesiz bir kontrol yöntemi ısı yükteki değişikliklere göre uygulanmıştır. Fan coil'in hava hacimsel debisini control ederek optimize etmek için bir fırçasız DC motor kullanmışlardır. Fan coilin enerji tüketimini inceleyebilmek için deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların sonucunda AC motora kıyasla DC motorlu fan coil'in enerji tüketiminin %36,64 oranında azaldığı gözlemlenmiştir [6].

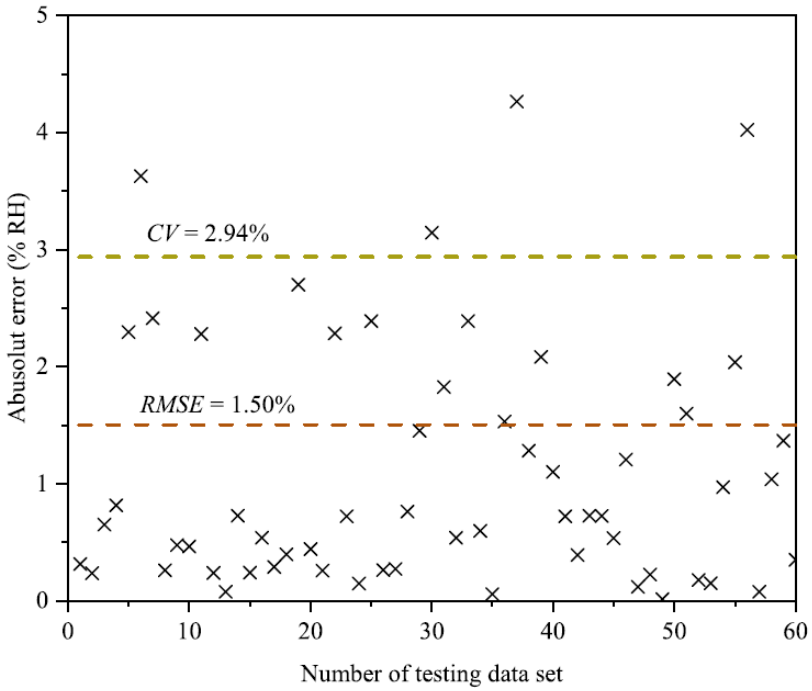
Canberk Yücel 2018 yılında yaptığı çalışmada fan coil ısı değiştiricisinin verimini arttırmak için ısı değiştirici üzerindeki hava dağılımı hesaplamalı akışkanlar dinamiği programı ile incelenmiştir. Yapılan çalışmada ısı değiştirici yüzeyinin alt ve üst taraflarında hava dağılımının düzgün olmadığı görülmüştür. Bu hava dağılımını düzeltmek ve arttırmak için yönlendirici kanat tasarlanmış ve kanat yerleşimine ve açısına göre ısı değiştirici üzerindeki hava hızı ve dağılımı incelenerek optimum kanat açısı belirlenmeye çalışılmıştır [7].

Akbar Firouzar 2017 yılında yaptığı çalışmada fan coil ünitelerinin performansını inceleyebilmek için deneysel ve sayısal çalışmalar yapmıştır. Fan coil ünitesinde havanın akış yapısının incelendiği çalışmada fan coil üniteleri ilgili standartlara uygun olarak hazırlanmış deney düzeneğinde farklı fan hızlarında test edilmiştir. Fan coiller Flow Vision HPC hava akış simülasyonunda analiz edilmiş deney sonuçları ile simülasyon sonuçları karşılaştırılarak sayısal çalışmalar doğrulanmıştır. Simülasyonlar yardımıyla elde edilen verilerden faydalanılarak batarya üzerindeki hava akışı incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda batarya

üzerinde hava dağılımının fan ile batarya arasındaki mesafeden etkilendiği görülmüştür. Batarya üzerindeki hava akışının daha çok düzeltilebilmesi için batarya ile fan arasındaki mesafenin yüksek fan hızında optimize edilmesi gerektiği düşünülmüştür [8].

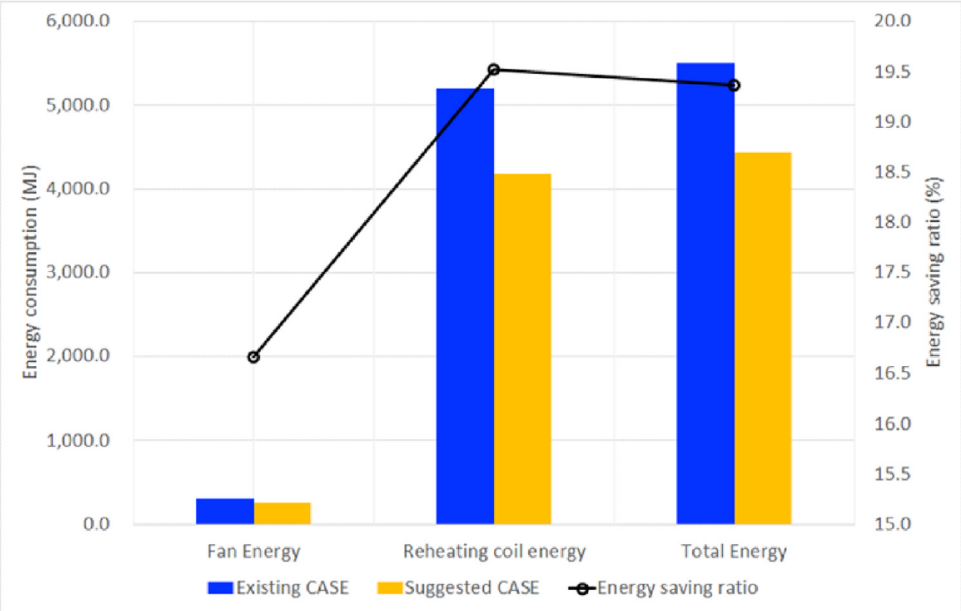
2.2 HVAC+R Sektöründe Yapay Sinir Ağı Modelleme Çalışmaları

Liu Yang ve arkadaşları 2024 yılında yaptıkları çalışmada iklimlendirme sistemlerinde havanın bağıl nemini belirleyebilmek için nem ölçüm cihazlarına alternatif olarak YSA modeli oluşturmuşlardır. Bunun için buharlaşma prosesinde ısı ve kütle transferlerindeki bağıntı üzerinde durularak havanın bağıl nemini etkileyen parametreleri belirleyip YSA modelinde girdi olarak kullanmak amaçlanmıştır. YSA modeli oluşturularak bir çok girdi parametresine bağlı olarak havanın bağıl nemi tahmin edilmiştir. YSA modelinin sonuçları ile deneysel çalışmaların sonuçları karşılaştırılmıştır. Hava nemini belirleyebilmek için oluşturulan YSA modeli ile deney sonuçları arasındaki mutlak sapma %4,5 olarak elde edilmiştir. Genel olarak elde edilen veriler karşılaştırıldığında (Şekil 2.1) verilerin çoğunluğunun %2,5 mutlak hatadan düşük olduğu görülmüştür [9].



Şekil 2.1 Deneyler sonucunda elde edilen havanın bağıl neminin YSA tahminleri [9]

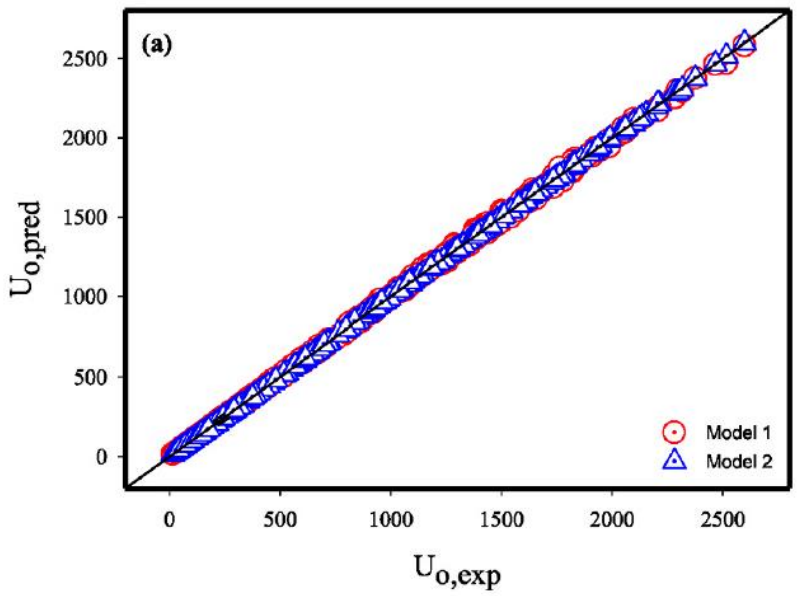
Hyo-Jun Kim ve arkadaşları 2022 yılında yaptıkları çalışmada yapay sinir ağı modelleri kullanarak VAV cihazlarında hava debisini ve sıcaklığını optimize etmeye çalışmışlardır. VAV cihazlarının önemli ayar parametleri olan besleme hava debisi ve sıcaklığı maksimum termal kapasitesi ve havalandırma ihtiyacına göre hesaplanmaktadır. VAV cihazlarının bu ayar parametrelerinin yapay sinir ağı modelleri ile tahmin edilerek enerji tüketiminin optimize edilmesi sağlanabilmektedir. Yapılan bu çalışmada iç mekanların yükü, hava kalitesi ve enerji tüketimleri geliştirilen yapay sinir ağı modelleri ile tahmin edilerek belirlenmeye çalışılmıştır. Tahmin edilen parametreler VAV cihazlarının ayar parametrelerini kontrol etmek amacıyla kullanılmıştır. YSA sonuçları elde edilince VAV cihazı için YSA tabanlı kontrol algoritmasının performansı, VAV ünitesi için mevcutta kullanılan kontrol algoritması ile performansı ile karşılaştırılmıştır (Şekil 2.2). YSA ile oluşturulan kontrol algoritmasının enerji tüketiminde besleme fanı için %16,7, ön ısıtıcı batarya için %19,5 az olduğu tespit edilmiştir [10].



Şekil 2.2 YSA ile oluşturulan kontrol algoritması ile mevcut kontrol algoritmasının yıllık enerji tüketimlerinin karşılaştırılması [10]

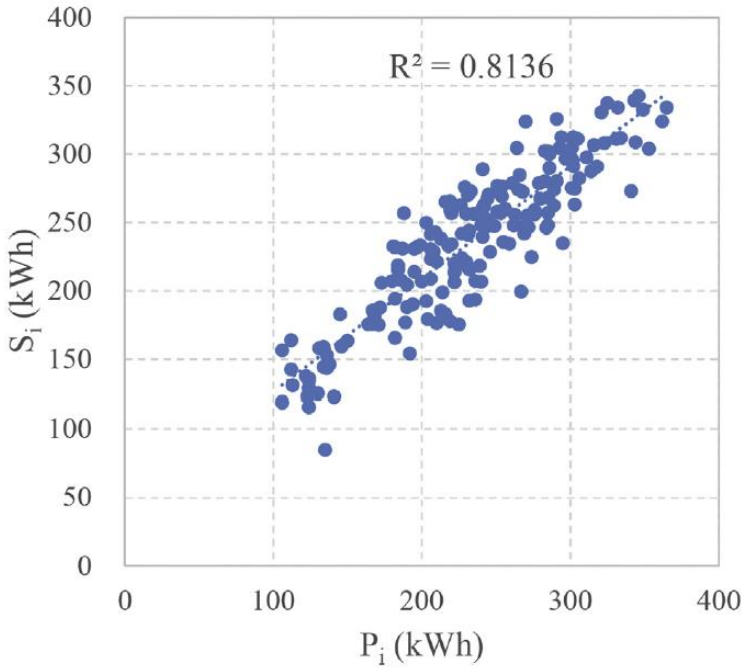
Andaç Batur Çolak ve çalışma arkadaşları 2022 yılında yaptıkları çalışmada yapay sinir ağı modellemeleri ile basınç düşüşü, toplam maliyet ve toplam ısı transfer katsayıları parametlerini belirlemişlerdir. Levenberg-Marquardt eğitim algoritmasının tercih edildiği çalışmada çok katmanlı bir Perceptron modeli geliştirilmiştir. Yapılan çalışmada yapay sinir ağları modellemelerinin başarı

oranının artması için girdi parametlerinin fazla olmasının gerekmesinin yanı sıra girdi parametlerinde gereksiz girdi parametlerinin makine öğrenim algoritmasını olumsuz yönde etkileydiği ve sapma oranlarının arttığı tespit edilmiştir. Yapılan iki farklı yapay sinir ağı modellemesinin birinde gereksiz olan girdi parametrelerini çıkararak sonuçları değerlendirmişlerdir (Şekil 2.3). Yapılan ilk yapay sinir ağı modelinde toplam ısı transfer katsayısı, boru basınç kayıpları ve maliyet parametreleri sırasıyla %0,16, %0,23, %0,02 ve %0,003 sapma oranları ile belirlenmiştir. Yapılan ikinci yapay sinir ağı modelinde aynı parametreler sırasıyla %0,02, %0,18, %0,16 ve %0,15 sapma oranları ile belirlenmiştir [11].



Şekil 2.3 YSA modellerinin tahminleri ile hedeflenen toplam ısı transfer katsayısı [11]

Min Hee Chung ve çalışma arkadaşları 2017 yılında yaptıkları çalışmada VRF soğutma enerjisi tüketimlerini tahmin edebilmek için YSA uygulamalarını kullanmışlardır. VRF sistemlerinin control değişkenelerini optimize etmek amaçlanmıştır. YSA'ların eğitimi ve performans değerlendirmesi yapılabilmesi için veri setleri deneyler yapılarak elde edilmiştir. Çıkış sıcaklığı ve nemi, giriş sıcaklığı, soğutma yükü, klima santrali besleme hava sıcaklığı set sıcaklığı, kondenser set sıcaklığı, kondenser set basıncı olmak üzere 7 farklı girdi parametresi belirlenmiştir. YSA sonuçlarında tahmin edilen değerler kabul edilebilir seviyede (Şekil 2.4) elde edilmiştir. Bu da insan konforu için iç mekanların şartlandırılmasında enerji verimliliğini arttırma amacıyla YSA'ların kullanılabilir olduğunu göstermektedir [12].

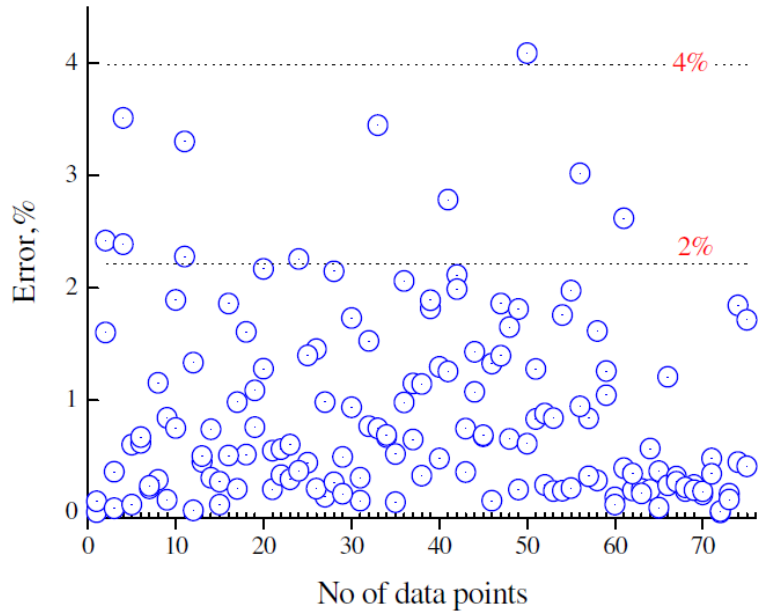


Şekil 2.4 Deneyler sonucu elde edilen soğutma enerji tüketimlerinin YSA modeli ile tahmini [12]

M. Mohanraj ve arkadaşları 2015 yılında yaptıkları çalışmada son yıllarda YSA'ların ısı değiştiricilerin termal analizleri için yaygın olarak kullanıldığını belirterek bu konuda yapılan çalışları incelemişlerdir. Yapılan çalışmaları ısı değişitiricilerin tasarımı, ısı değişitiricilerin önemli parametrelerinin tahmini, ısı değiştiricilerde faz değişim özelliklerinin tahmini ve ısı değişitiricilerin kontrolü olmak üzere kategorizeleştirmişlerdir. Yapılan incelemeler sonucunda ısı değiştiricilerinde YSA'nın kullanılmasının termal analiz için başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür [13].

M. Mohanraj ve arkadaşları 2012 yılında yaptıkları çalışmada soğutma, havalandırma ve ısı pompası sektöründe 90 makale üzerinde yapılan YSA uygulama çalışmalarını incelemişlerdir. Enerji ve ekserji analizleri için yapılan YSA çalışmalarını soğutma, havalandırma ve ısı pompası sistemleri, buhar sistemleri, soğutucu gaz özelliklerini belirleme, sistemlerin kontrolü, soğutucu gazların faz değişim özellikleri, HVAC+R sistemleri ve diğer farklı özel soğutma ve ısıtma uygulamaları olarak kategorize edip incelemişlerdir. Yapılan bu incelemeler sonucunda YSA uygulamalarının soğutma, havalandırma ve ısı pompası uygulamaları üzerinde düşük sapma oranlarıyla başarılı bir şekilde uygulanabildiği görülmüştür [14].

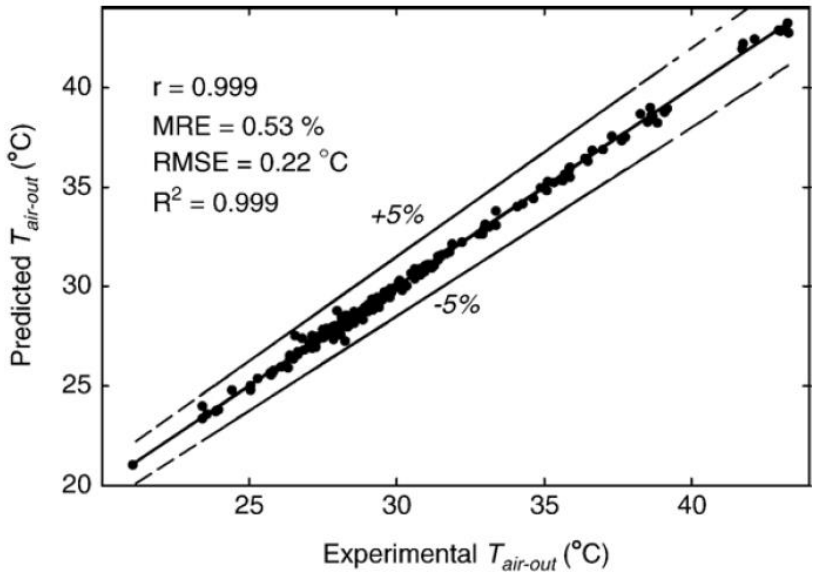
Gongnan Xie çalışma arkadaşları 2009 yılında ısı değiştiriciler üzerine yaptıkları deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen ve daha sonrasında sayısal olarak hesaplanan sürtünme faktörlerini ve Nusselt sayılarını birbirleriyle ilişkilendirmek için bir YSA modeli oluşturmuşlardır. YSA modelleri için veri tabanı olarak 4000 ile 10000 arasında Reynolds sayısı ve ısı değiştirici boru sayısı 6,9 ve 12 olacak şekilde 9 örnek belirlenmiştir. YSA modelinde Nusselt sayısı ve akışkanın sürtünme faktörü çıktılarını tahmin edebilmek için 12 adet boyutsal girdi kullanılmıştır. Eğitim algoritması olarak ileri beslemeli geri yayılım algoritmasının kullanıldığı YSA modeli tahminleri ile deneysel çalışmaların sonuçları arasındaki sapmalar (Şekil 2.5) %4'ten az olarak elde edilmiştir. Yapılan bu çalışmanın sonunda termal sistemlerin performanslarını belirleyebilmek ve tahmin etmek için YSA'ların kullanılması önerilmiştir. Ayrıca ısı değiştiricilerin tasarımında ısı transferi, YSA modelleri ile tahmin edilebilmektedir [15].



Şekil 2.5 Yapılan çalışma sonucu YSA tahminlerinin yüzdesel hata oranları [15]

Süleyman Yiğit ve Metin Ertunç 2006 yılında yaptıkları çalışmada boru üzeri tel tipi ısı değiştirici çıkış havasının sıcaklığını ve nemini tahmin ederek belirleyebilmek için YSA modeli kullanmışlardır. Bunun için soğutma sistemine bağlanan ısı değiştiricinin deneyleri yapılmış ve performansı farklı koşullar altında test edilmiştir. YSA modeli için 9 farklı girdi parametresi belirlenmiştir. Bu parametreler ısı değiştirici girişindeki havanın sıcaklığı, nemi ve hızı, batarya yüzeyi sıcaklığı, buzlanma ağırlığı, akışkanın kütle debisi, giriş ve çıkış sıcaklığı

ve ortam sıcaklığıdır. Çıkış parametreleri olarak ise batarya çıkışındaki havanın sıcaklığı ve nemi belirlenmiştir. YSA modeli geri yayılım algoritmasına dayalı ileri beslemeli sinir ağı olarak oluşturulmuştur. Deneysel olarak elde edilen veriler ile YSA modeli ile tahmin edilen veriler karşılaştırılmıştır (Şekil 2.6). Ortalama sapma oranının hava çıkış sıcaklığı için %1'den az, hava çıkış nemi için ise %2'den az olduğu tespit edilmiştir. Yapılan bu çalışmada YSA modellerinin soğutucu bataryaların performansını tahmin etmek amacıyla kullanılabileceği önerilmektedir [16].



Şekil 2.6 Deneysel olarak elde edilen hava çıkış sıcaklıklarının YSA tahminlerinin hata oranları [16]

Soteris A. Kalogirou 2000 yılında yaptığı çalışmada enerji sistemlerinde YSA uygulamalarını incelemiştir. YSA uygulamaları güneş enerjisi alanında modelleme, tasarım ve performans tahmini için kullanılmıştır. Bunun yanı sıra YSA yapıların ısıtma ihtiyaçlarının tahmini, hava akışlarının tahmini ve binaların enerji tüketimlerinin tahminlerinde kullanılmıştır. Yapılan çalışmaların çoğunda çoklu gizli katman mimarisi kullanılmıştır. YSA uygulamalarında elde edilen sapma oranları makul sınırlar içerisinde kalmaktadır. Bu sonuç YSA'ların enerji sistemlerinde YSA'ların modelleme için kullanılabileceğini göstermektedir [17].

3
DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1 Deneysel Çalışmaların İçeriği

Yapılan deneysel çalışmalar kapsamında gizli tavan tipi, kanalsız tipte, kabinsiz, 10 farklı boyutta ve kapasitede fan coillerin Alarko Carrier Gebze fabrikasında Ar-Ge departmanı Klima bölümü labaratuvarında deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Deneyler temelde fan coil hava hacimsel debisinin belirlenmesi ve ısıl kapasitelerin (soğutma kapasitelerinin) belirlenmesi şeklinde 2 ana başlıkta değerlendirilip yapılmıştır. Yapılan çalışmada fan coil hava ve su tarafı giriş şartları için EUROVENT sertifikasyon kuruluşunun belirtmiş olduğu giriş şartları referans alınmıştır. Bu giriş şartları deney şartları bölümünde anlatılmıştır. Deneyler AMCA ve ASHRAE labaratuvar test yöntemleri standardlarına uygun olacak şekilde tasarlanmış olan deney düzeneği ve deney odasında yapılmıştır. Deney odası ve deney düzeneği bölümünde detaylı olarak anlatılmıştır.

Fan coiller 0-10VDC çalışma aralığında kendinden dahili kontrollü EC motorlu fanlar ile 0,5VDC sinyal sıklığında 2-8VDC sinyal aralığında test edilmiştir. 2V altında fan coil motorunun aşırı ısınma riski, 8VDC'de ise istenilen kapasitelerin elde edilmesi nedeniyle deneyler 2-8VDC çalışma aralığında sınırlandırılmıştır. Deneylerde fan coil dış statik basıncı 0-60Pa aralığında ele alınmıştır.

Deneyler sonucunda deney verileri kullanılarak fan coil'in hava hacimsel debisi AMCA 210 standardında tarif edilen hava debisi hesaplama metoduna göre hesaplanmıştır. Fan coil'in ısıl kapasitesi(soğutma kapasitesi) su tarafı toplam soğutma kapasitesi hesaplanarak elde edilmiştir. Deney verilerinin düzenlenmesi bölümünde detaylı olarak anlatılmıştır.

Yapılan çalışmaların sonunda hava debisi ve ısıl kapasite deneyleri için belirsizlik analizleri yapılarak gerçekleştirilen deneylerin hata oranları gösterilmiştir.

Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen fan coil'in önemli performans parametleri oluşturulan yapay sinir ağları modelleri ile tahmin edilmeye çalışılmış ve deney sonuçları ile yapay sinir ağı çözümlemelerinin sonuçları karşılaştırılarak sapma oranları gösterilmiştir.

3.2 Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Fan Coiller

Yapılan deneylerde Alarko Carrier Gebze fabrikasında üretimi gerçekleştirilen CE ve EUROVENT sertifikalı Carrier 42CT serisi gizli tavan tipi fancoiller kullanılmıştır. Carrier 42CT serisi fancoiller 222m³/h ila 2769 m³/h hava hacimsel debisi aralığında çalışan 10 farklı boyuttadır. Carrier 42CT serisi fancoiller EUROVENT standardı test koşullarında 13,6kW'a kadar soğutma kapasitesi sağlamaktadır. Fancoiller ihtiyaca göre 2 borulu veya 4 borulu olmak üzere farklı batarya seçenekleri ile farklı kapasitelerde kullanılmaktadır. Carrier 42CT serisi fan coillerin fotoğrafı Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Carrier 42CT serisi fan coil

Fan coil üniteleri farklı ihtiyaçlara ve uygulama yöntemlerine cevap verebilmek için farklı çeşitlerde üretilebilmektedir. HVAC+R sektöründe kabinli veya kabinsiz, döşeme tipi, gizli tavan tipi, yüksek basınçlı tip, yüksek duvar tipi veya kabinli dört yöne üflemeli tip olarak fan coil çeşitleri bulunmaktadır. İstenmeyen ve gereksiz tesisat görünümünün olmadığı, mekan kullanımının daha ergonomik olduğu, direkt son kullanıcının bulunduğu ortamda bulunmadığı için gizli tavan tipi fan coiller daha çok tercih edilmektedir. Bu nedenlerle bu çalışma kapsamında gizli tavan tipi fan coillerin deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Deneysel çalışmalarda kullanılan EC motorlu gizli tavan tipi fan coillerin özellikleri Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1 Deneysel çalışmalarda kullanılan fan coillerin özellikleri

Model	**Boyutlar (mm)**	**Maksimum Toplam Soğutma Kapasitesi[kW]**	**Motor Güç Girişi [W]**	**Ses Gücü Seviyesi [dB(A)]**
Size02	703x249x536	3,02 - 3,04 - 2,92	57 - 53 - 53	65 - 64 - 64
Size03	843x249x536	4,59 - 4,84 - 4,23	85 - 83 - 82	67 - 67 - 67
Size04	923x249x536	5,12 - 5,32 - 4,60	102 - 97- 95	66 - 66 - 66
Size05	1003x249x536	6,03 - 6,03 - 5,38	89 - 84 - 83	65 - 65 - 64
Size06	1163x249x536	6,71 - 6,91 - 6,02	98 - 96 - 93	66 - 66 - 65
Size07	1243x249x536	7,20 - 7,77 - 6,68	104 - 101 - 100	67 - 66 - 66
Size08	1483x249x536	10,86 - 11,53 - 10,05	230 - 219 - 216	71 - 71 - 71
Size10	1533x249x536	11,87 - 12,20 - 10,60	249 - 228 - 224	72 - 72 - 71
Size12	1733x249x536	12,87 - 13,40 - 11,79	251 - 230 - 226	70 - 70 - 70
Size14	1893x249x536	13,70 - 14,62 - 13,25	255 - 245 - 243	72 - 71 - 71

Tablo 3.1'de verilen fan coilin toplam soğutma kapasitesi, motor güç girişi ve ses gücü seviyeleri için verilen değerler sırasıyla 2 borulu 3 sıra, 2 borulu 4 sıra ve 4 borulu 3+1 sıra bataryalı fan coiller içindir. Aynı zamanda bu değerler deney şartları bölümünde bahsedilen giriş şartları altında elde edilen değerlerdir.

Deneysel çalışmalarda kullanılan gizli tavan tipi Carrier 42CT fan coillerin çalışma sınırları Tablo 3.2'de verilmiştir. Bu fan coillerin üretimi Alarko Carrier Gebze fabrikasında yapılmaktadır.

Tablo 3.2 Deneysel çalışmalarda kullanılan fan coillerin çalışma sınırları

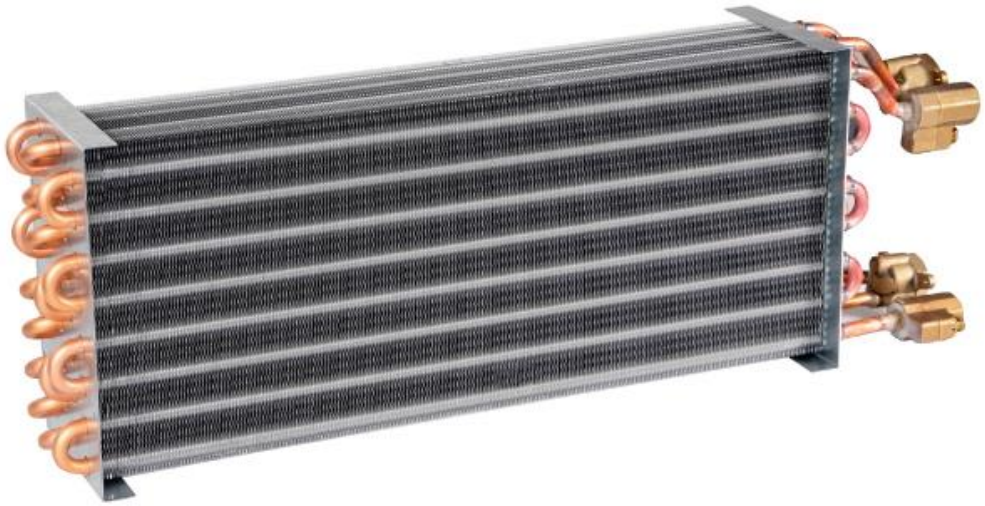
Akışkan(su) özellikleri	Minimum giriş sıcaklığı : 5°C
	Maksimum etilen/propilen karışım oranı : %50
	Maksimum çalışma basıncı : 16 bar
İç ortam şartları	Tg < 30°C ve %60 bağıl nem
Çıkış havası şartları	Tç > 12°C (14,7 g/kg kuru hava)
Elektrik girişi (EC motor)	220/240V-1Ph-50/60Hz

Yatay gizli tavan uygulamalarında kullanılan fan coillerin standart yıkanabilir filtre, standart arka emiş plenumu ve standart besleme flanşları ile deneyleri gerçekleştirilmiştir. Fan coiller ihtiyaca göre 3 kademe hızlı AC fan motoru veya dahili kontrollü EC fan motoru seçeneklerine sahiptir. Bu çalışmada dahili 2-10VDC kontrollü EC fan motorlu fan coiller kullanılmıştır. Farklı voltaj sinyallerinde fan coillerin önemli performans parametreleri elde edilmiştir. Fan coillerde kullanılan fan motoru Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Carrier 42CT serisi fan coil motoru

Fancoillerde kullanılan bataryalar bakır borulardan ve hidrofilik kaplamalı alüminyum kanatlardan imal edilmiştir. Deneylerde kullanılan tüm fancoil modellerinde bulunan bataryalar için su giriş ve çıkış bağlantıları ¾", çalışma basınçları 16 bar'dır. Fancoillerde kullanılan 2 borulu ve 4 borulu bataryalar için maksimum su giriş sıcaklığı 90°C'dir. Fan coillerde kullanılan bataryaların fotoğrafı Şekil 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.3 Carrier 42CT serisi fan coil bataryası

Deneylerde kullanılan fan coiller öne eğik sık kanatlı düşük hızlı özellikte olan fanlara sahiptir. Fan coillerde kullanılan fanlar Şekil 3.4'te gösterilmiştir. Fancoillerde kapasiteye bağlı olarak 1 veya 4 adet arasında fan coil fanı

bulunmaktadır. Fancoillerde sabit mıknatıslı fırçasız motorlar kullanılmaktadır. IP20 koruma seviyesi ve B sınıfı izolasyona sahip motorlar 2-10VDC kontrol sinyali ile kontrol edilmektedir. Motorlar için güç kaynağı 220/240V-1Ph-50/60Hz'dir.



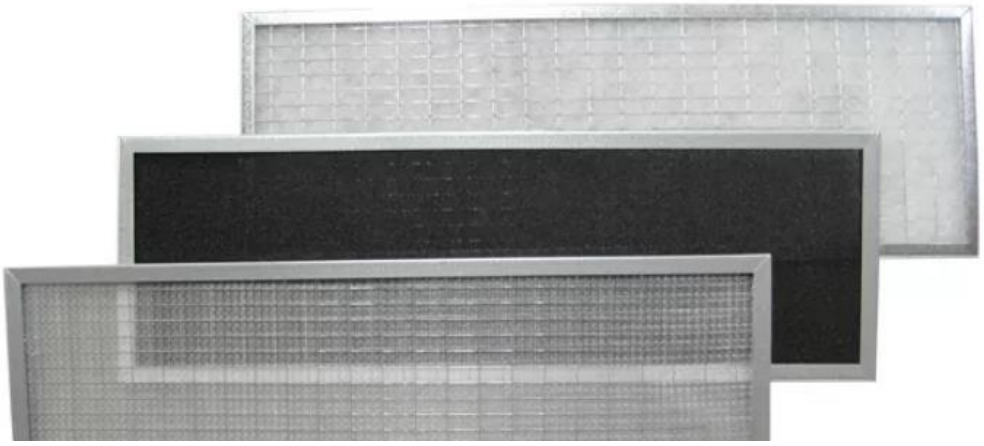
Şekil 3.4 Carrier 42CT serisi fan coil fanı

Fan coil kullanılan fan ve motorların birbirlerine bağlantısı Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Carrier 42CT serisi fan coil fan ve motor ikilisi

Fancoillerde yıkanabilir standart naylon mesh filtreler kullanılmıştır. Filtreler alüminyum çerçevelidir. Filtreler özel tasarım sayesinde fan coillerden kolayca çıkarılıp değiştirilebilmektedir. Fan coillerde kullanılan filtrelerin fotoğrafı Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6 Carrier 42CT serisi fan coillerde kullanılan filtreler

3.3 Deney Odası ve Deney Düzeneği

3.3.1 Deney Odası

Bu çalışmada yapılan deneyler Alarko Carrier Gebze fabrikasında bulunan fan coil test labaratuvarında (Şekil 3.7, Şekil 3.8) gerçekleştirilmiştir. Test labaratuvarının iç ortam havası fabrika iç ortam havasından izole kapalı bir ortamdır. Labaratuvarda 300-10000m³/h hacimsel hava debisi aralığında deneyler yapılabilmektedir. Fan coillerin bağlandığı deney düzeneği bu deney odası içerisinde bulunmaktadır.



Şekil 3.7 Carrier fan coil test labarauvarı

Test labaratuvarının üzerinde labaratuvarın iç ortam havasını şartlandırılmak üzere bir klima santrali bulunmaktadır. Bu klima santrali test labaratuvarından aldığı dönüş havasını deney şartlarına getirmek için şartlandırarak tekrar test labaratuvarına üflemektedir. Test labaratuvarının üzerinde konumlanmış bu klima santrali içerisinde deneyleri yapılan fan coillerin giriş havasını istenilen sıcaklıklara getirmek için kullanılan ısıtıcı batarya ve elektrikli ısıtıcı mevcuttur. İhtiyaca göre ısıtıcı batarya veya hem ısıtıcı batarya hem de elektrikli ısıtıcı gereken kapasitelerde çalıştırılarak fan coil giriş havası istenilen sıcaklıklara ısıtılmaktadır. Fan coil giriş havasının sıcaklığı istenilen test sıcaklığına getirildikten sonra sıcaklığın deneyler süresince sabit olarak kalması için ısıtıcı batarya ve/veya elektrikli ısıtıcı sürekli olarak oransal kontrol edilmektedir. Aynı zamanda deneyler için gereken giriş yaş termometre sıcaklığını sağlamak için klima santrali içerisinde oransal olarak kontrol edilen bir buharlı nemlendirici mevcuttur. Nemlendirici oransal olarak kontrol edilerek fan coil giriş havasının nemi sabit tutmaya çalışılmaktadır. Klima santrali bünyesinde bulunan ısıtıcı batarya, elektrikli ısıtıcı ve nemlendiricinin kontrolü deney bilgisayarı ekranından 0-10VDC aralığında analog kontrol ile yapılmaktadır.



Şekil 3.8 Fan coil test labaratuvarı iç ortamı

Deneyler için fan coil giriş havasını istenilen şartlara getirmek dış ortam havasına, mevsim şartlarına bağlıdır. Mevsim şartlarına bağlı olarak çok soğuk veya çok sıcak günlerde test labaratuvarının iç ortam havasını şartlandırmak uzun sürmektedir. Aynı şekilde çok kuru veya çok nemli havalarda iç ortam havasını şartlandırmak için gereken zaman fazladır. Deney öncesi labaratuvar iç ortamının şartlandırılması ve deneylerin gerçekleştirilmesi süresince labaratuvar giriş kapısı sürekli kapalı tutulmaktadır.

Hava tarafının şartlandırılmasına ek olarak deney öncesi hazırlıklardan biri de fan coil bataryasına beslenen suyun istenilen şartlara getirilmesini sağlamaktır. Fan coil bataryasına beslenen soğutma suyunu giriş şartlarına soğutmak için iki adet chiller kullanılmaktadır. Chillerler fan coil test labaratuvarının dışarısında bulunmaktadır. Soğutma ihtiyacına göre chillerlerden bir tanesi yada ikisi birden çalıştırılmaktadır. Chillerlerin set sıcaklık değerleri fan coil bataryasına beslenen suyun soğutuculacağı sıcaklığa göre ayarlanmaktadır. Chillerlerden beslenen suyun sıcaklığı istenilenden fazla soğutulup batarya giriş sıcaklığının altına düştüğünde suyu ısıtmak için fan coile su besleyen tesisat borusunun üzerinde bulunan sarmal bant elektrikli ısıtıcı açılmaktadır. Bu sayede istenilenden fazla soğutulan su ısıtılarak fan coil bataryasına gönderilmektedir.

Fan coil bataryasına beslenen soğutma suyunun soğutulduğu Carrier 30RBV model chillerlerin fotoğrafı Şekil 3.9'da gösterilmektedir.



Şekil 3.9 Soğuk su kaynağı chillerler

Fan coil bataryasına beslenen suyun istenilen sıcaklığa soğutulmasına ek olarak bataryaya beslenen suyun giriş ve çıkış sıcaklık farkı da önemlidir. Bunun için bataryaya beslenen suyun giriş ve çıkış sıcaklık farkı kontrol edilmektedir. Bu

kontrol bataryaya beslenen suyun debisi ayarlanılarak yapılmaktadır. Bataryaya beslenen suyun debisi azaltıldığında sıcaklık farkı artacak, suyun debisi arttırıldığında ise sıcaklık farkı azalacaktır. Bu sayede suyun giriş ve çıkış sıcaklık farkı ayarlanmaktadır. Fan coile beslenen soğutma suyunun debisi 3 yollu elektronik kontrollü bir vana yardımıyla oransal olarak ayarlanmaktadır. Fan coil soğutma suyunun debisi deneylerde kullanılan ölçüm aletleri bölümünde bahsedilen elektromanyetik bir debi ölçer yardımıyla ölçülmektedir.

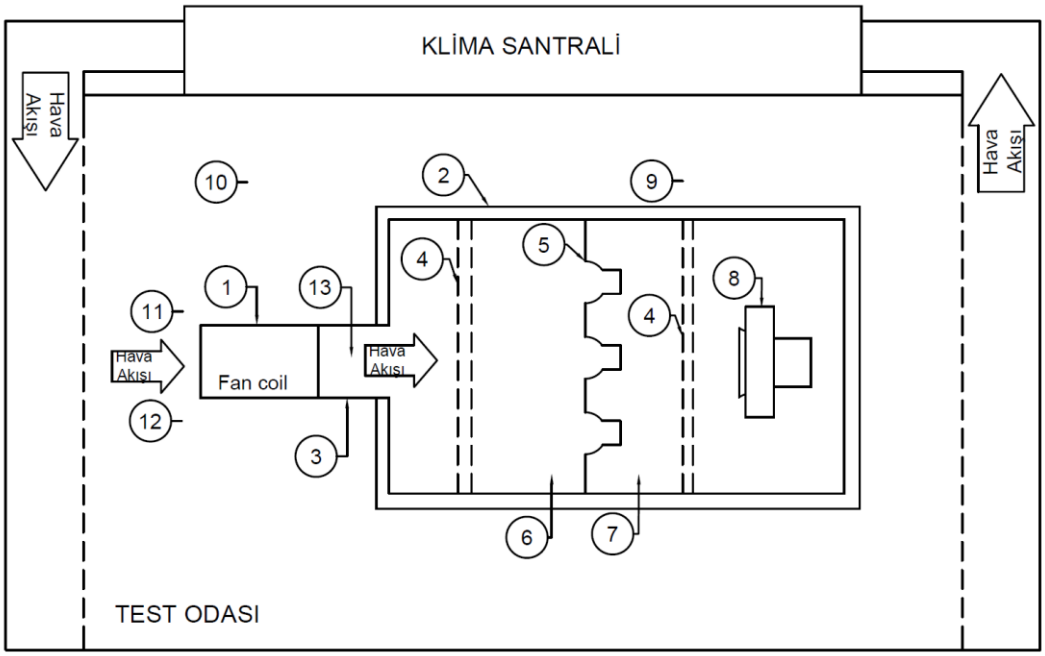
Fan coil test labaratuvarının dışında chillerlerden soğutulup gelen suyun fan coil bataryasına gönderilirken kontrol edildiği bir pompa vana grubu bulunmaktadır. Pompa ve vana grubunun fotoğrafı Şekil 3.10'da gösterilmiştir. Pompa ve vanaların çalışma frekansları ayarlanılarak fan coil bataryasına beslenen suyun sıcaklık farkı kontrolü yapılmaktadır. Aynı zamanda deneylerde test labaratuvarının iç ortam havasını şartlandırmak için labaratuvarın üzerinde konumlanmış klima santralinde bulunan ısıtıcı bataryaya sıcak su temin eden pompa ve vana grubu da bulunmaktadır. Sıcak su kaynağı olarak Alarko marka tam yoğuşmalı bir kombi yardımıyla ısıtılan su kullanılmaktadır.



Şekil 3.10 Fan coil deney labaratuvarı pompa ve vana grubunun fotoğrafı

3.3.2 Deney Düzeneği

Bu çalışmada Alarko Carrier A.Ş. Gebze fabrikasında fan coillerin ANSI/AMCA 210-16 (Laboratory Methods of Testing Fans for Certified Aerodynmamic Performance Rating) test standardına uygun olarak tasarlanmış olan deney düzeneğinde deneyleri yapılmıştır. İlgili bu standarda uygun olarak Alarko Carrier A.Ş tarafından tasarlanmış olan fan coil deney düzeneğinin şematik resmi Şekil 3.11'de verilmiştir. Deney düzeneğinin fotoğrafı ise Şekil 3.12'de verilmiştir.



Şekil 3.11 Fan coil deney düzeneğinin şematik gösterimi 1)fan coil, 2)yalıtılmış test düzeneği, 3)redüksiyon bağlantı, 4)akış düzenleyicileri, 5)lüle, 6),7) lüle fark basıncı ölçümü, 8)yardımcı EC fan, 9)atmosfer basıncı ölçüm noktası, 10)ortam havası sıcaklık ve nem ölçüm noktası, 11)fan coil giriş havası ölçüm sıcaklık ölçüm noktası, 12)fan coil giriş havası nem ölçüm noktası, 13)fan coil dış statik basınç kaybı ölçüm noktası



Şekil 3.12 Fan coil deney düzeneği

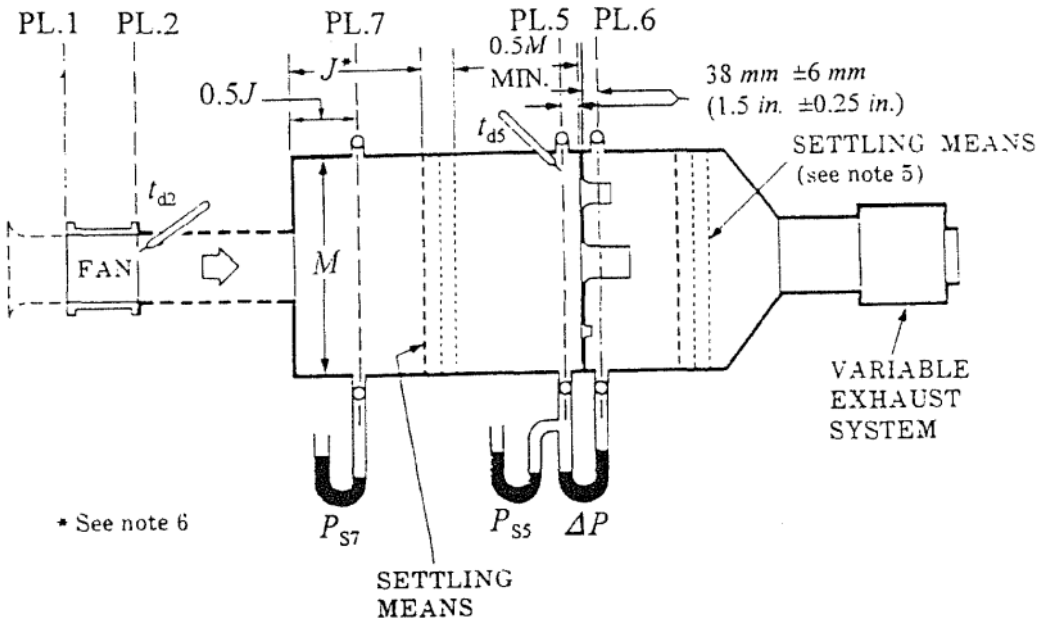
Fan coil deney düzeneği dış ortamdan izole ve termal yalımlı olan test labaratuvarının içerisinde yer almaktadır. Fan coil deneyleri süresince fan coilin soğutacağı giriş havasının kuru termometre sıcaklığı, yaş termometre sıcaklığı, bağıl nemi, ortam basıncı vb. gibi özelliklerinin sabit olması ve değişmemesi gerekmektedir. Test labaratuvarı üzerinde bulunan klima santrali ile şartlandırılan bu havanın sabit şartlarda tutulabilmesi için sürekli olarak klima santrali bünyesinde bulunan ısıtıcı batarya, elektrikli ısıtıcı ve buharlı nemlendirici oransal olarak kontrol edilmektedir.

Deney düzeneğinde 10 farklı boyutta ve kapasitedeki fan coillerin deneyleri yapılmıştır. Deneyler için her bir farklı fan coil boyutuna uygun olarak tasarlanmış redüksiyon kanallar yardımıyla farklı boyuttaki fan coiller deney düzeneğine bağlanabilmektedir. Redüksiyon kanalların fotoğrafı Şekil 3.13'te gösterilmiştir. Redüksiyon kanal üzerinde farklı noktalardan yüksek hassasiyetli diferansiyel basınç transdüseri ölçülen statik basınç kayıplarının ortalaması ile fan coilin dış static basınç kaybı elde edilmektedir. Deneylerde fan coilin dış statik basınç kaybı bir deney değişkeni olarak ele alınmaktadır. Fan coil bataryalarının su giriş ve çıkış bağlantıları tüm fan coiller için aynı olduğu için test edilecek fan coillerin su bağlantıları aynı borular yardımıyla kolayca yapılmaktadır.



Şekil 3.13 Fan coil deney düzeneği redüksiyon kanallar

Fan coilin bağlandığı deney düzeneği temelde, termal olarak yalıtılmış bir klima santrali gövdesi içerisinde fan coilin beslediği havanın akışının düzgünlüğünü arttırmak için akış düzenleyicileri, statik basınç ve sıcaklık ölçüm noktaları, fan coilin hava hacimsel debisinin elde edilmesi için lüleler ve çıkışında dahili 0-10VDC kontrollü EC motorlu radyal fan içermektedir. Deneylerde kullanılan bu deney düzeneği ANSI/AMCA 210-16 standardına uygun olarak tasarlanmıştır. ANSI/AMCA 210-16 standardında tariflenen düzeneğin şematik görünümü Şekil 3.14'te verilmiştir. Akış düzenleyiciler düzensiz hava akışlarını ve oluşan türbülansları azaltarak fan coilin beslediği havanın statik basıncını daha doğru ve hassas ölçmek için havanın akışını düzenlemektedir. Akış düzenleyicilerin fotoğrafı Şekil 3.15'te gösterilmiştir. Bu sayede deney düzeneğinin farklı noktalarından alınan hava numunelerinin statik basınçlarının ortalaması daha doğru sonuç vermektedir.



Şekil 3.14 ANSI/AMCA 210-16 standardındaki düzeneğin şematik gösterimi [18]



Şekil 3.15 Deney düzeneği akış düzenleyicileri

Aynı zamanda deney düzeneği yardımıyla fan coilin gerçek çalışma koşullarındaki hava debisine göre ihtiyaç duyulan dış statik basınç kaybı simüle edilmektedir. Deney düzeneğinin sonuna ve fan coile seri bağlı olarak bağlanan EC motorlu radyal fan deney düzeneğindeki basınç kaybını dengelemek ve ayarlamak için kullanılmaktadır. Yapılan deneyler süresince bu fan oransal olarak kontrol edilerek statik basınç dengesi sağlanmaya çalışılmıştır. İlgili fan deneyleri yapılan 10 farklı boyutta ve kapasitedeki fan coillerin toplam basınç kayıpları gözönünde bulundurularak seçilmiştir.

Düşük boyutta ve kapasitedeki fan coillerin basınç dengesi için deney düzeneği çıkışındaki radyal fanı oransal olarak kontrol etmek daha hassas ve daha zordur. Çünkü bu fan coillerdeki fanların kapasitesi radyal fanın kapasitesinden çok düşüktür. Büyük boyutta ve kapasitedeki fan coillerin basınç dengesinin radyal fan ile kontrol edilmesi daha kolay yapılmıştır.

Isıl yalıtımlı olan deney düzeneği içerisindeki havanın bağıl nemini belirlemek için hava örnekleyiciler kullanılmıştır. Aynı şekilde fan coile giren havanın nemini belirlemek için fan coil giriş plenumunun hemen önünde hava örnekleyiciler kullanılmıştır.

Deney düzeneğinde akış düzenleyicileri ile deney düzeneğinin çıkışındaki radyal fan arasında standarda uygun olarak konumlanmış 3 adet çıkış çapı 4 inç ve 6 adet çıkış çapı 5,7 inç olmak üzere toplam 9 adet paralel yerleştirilmiş lüle (Şekil 3.16) kullanılmıştır. Lülelerin statik basınç kaybı yüksek hassasiyetli diferansiyel basınç transdüseri ile ölçülerek fan coilin hava hacimsel debisi hesaplanmaktadır. Deneyler esnasında lülelerdeki hava hızlarına bağlı olarak ilgili lüleler açık bırakılıp diğer lüleler havanın geçmesini önleyecek sızdırmazlıkta kapatılmaktadır. Havanın homojen akması için hangi lülelerin kapalı tutulup hangi lülelerin açık tutulacağı açık olan lülelerin simetrik olmasına göre önceden belirlenmiştir. Lülelerden geçen havanın ortalama hızı hava debisi hesaplama hassasiyetinin yüksek olması için 15 m/s ila 36 m/s aralığında tutulmalıdır [19]. Daha yüksek ve daha düşük hava hızlarında hesaplanan hava debilerinde hata oranı artacaktır.



Şekil 3.16 Deney düzeneğinde kullanılan lülelerin fotoğrafı

3.4 Deney Şartları

Fan coil deneylerinde deneylere başlamadan önce ön hazırlıklar yapılması gerekmektedir. Yapılacak olan bu ön hazırlıklarda fan coil giriş havasının sıcaklığı ve nemi istenilen giriş şartlarına getirilmesi gerekmektedir. Fan coil deneyleri için fan coil giriş havasının deney şartları EUROVENT standardında belirtilmiştir. Bu çalışmada deneyler öncesinde giriş havası EUROVENT standardında belirtilen koşullara şartlandırılmıştır. Daha sonra deneyler süresince bu giriş şartları sabit tutulmaya çalışılmıştır. EUROVENT standardında fan coil soğutma deneyleri için belirtilen deney koşulları Tablo 3.3'te verilmiştir.

Deneylerde elde edilen veriler değerlendirilmeden önce anlık olarak deney koşullarının dışına çıkan veri noktalarındaki deney sonuçları elenmiştir. Bu sayede sadece deney koşulları sağlandığı zamanlarda elde edilen deney sonuçlarına göre değerlendirmeler yapılabilmiştir. Deneylerde kullanılan sıcaklık ölçüm aletlerinin toleransları gözönünde bulundurularak deney koşullarına toleranslar verilmiştir.

Tablo 3.3 Fan coil soğutma deney koşulları [20]

Su tarafı	Giriş sıcaklığı	7 °C
	Çıkış sıcaklığı	12 °C
Hava tarafı	Kuru termometre sıcaklığı	27 °C
	Yaş termometre sıcaklığı	19 °C

Tablo 3.3'te verilen deney koşulları EN 1397:2015 standardı ile uyumludur [20]. Deneylerin doğruluğu ve hassasiyeti için deneyler süresince deney koşulları oransal kontrollü ölçüm aletleri ile sürekli bir şekilde kontrol edilerek sabit tutulmaya çalışılmıştır. Deney koşulları istenilen şartlar dışına çıktığında deney koşullarını tekrar istenilen şartlara getirmek için su tarafı chillerler yardımıyla, hava tarafı klima santrali yardımıyla şartlandırılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen verilerden deney koşulları dışında elde edilen veriler elenmiştir.

3.5 Deneylerde Kullanılan Ölçüm Aletleri

Fan coil hava debisi ve ısıl kapasite(soğutma kapasitesi) deneylerinde kalibrasyonları yapılmış deney ölçüm aletleri kullanılmıştır. Deney ölçüm aletleri belirlenirken fan coil deneyleri için gerekli olan ölçüm toleransları gözönünde bulundurulmuştur. Fan coil deneyleri için ölçüm toleransları ASHRAE 79 standardında belirtilmektedir.

Test labaratuvarında kullanılan oransal kontrollü ölçüm aletlerinin deneyler süresince kapasitelerinin kontrolleri deney bilgisayarı üzerinden PLC yazılımı ile yapılmıştır.

Deneysel çalışmalarda dijital güç ölçer güç ölçüm cihazı kullanılmıştır. Şebeke gerilimi, güç faktörü, çekilen akım ve elektrik gücü bu güç ölçüm cihazı ile elde edilmiştir. Güç ölçüm cihazının fotoğrafı Şekil 3.17'de gösterilmektedir.



Şekil 3.17 Deneylerde kullanılan güç ölçüm cihazının fotoğrafı

Deneyler süresince şebeke gerilimi 230V olmalıdır. Deneyler sırasında fabrikadaki makinelerin çalışma yoğunluğuna bağlı olarak şebeke gerilimi değişmektedir. Yapılan deneylerde şebeke geriliminin 230V olarak ayarlanması için ayarlı transformatör kullanılmıştır. Bu sayede şebeke geriliminin değişimi kontrol altına alınmıştır. Kullanılan ayarlı transformatörün fotoğrafı Şekil 3.18'de gösterilmektedir.



Şekil 3.18 Deneylerde kullanılan ayarlı transformatörün fotoğrafı

Fan coil fanının devrini ölçmek için Digimax DMZN96 devir ölçer kullanılmıştır. Devir ölçerin fotoğrafı Şekil 3.19'da gösterilmiştir.



Şekil 3.19 Deneylerde kullanılan devir (rpm) ölçerin fotoğrafı

Fan coil bataryasına chillerlerden beslenen suyun debisi elektromanyetik debimetre ile ölçülmüştür. Elektromanyetik debimetre olarak Siemens Mag6000 kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan elektromanyetik debimetrenin fotoğrafı Şekil 3.20'de gösterilmektedir.



Şekil 3.20 Deneysel çalışmalarda kullanılan elektromanyetik debimetrenin

Deneylerde kullanılan ölçüm aletleri Tablo 3.4'te gösterilmektedir.

Tablo 3.4 Deneylerde kullanılan ölçüm aletleri

Deney Ölçüm Aleti	**Model**
Sıcaklık ölçer	RTD/PT100- 3 kablo
Bağıl nem ölçer	Digimax DM-HT-D5V
Güç ölçer	Dijital güç ölçer
Barometrik basınç	DM-PT-100-A-1
Lüle fark basıncı	Ashcroft IXLdp
Hava statik basıncı	Ashcroft IXLdp
Su debisi ölçer	Siemens MAG1100
Voltaj transformatörü	Varsan ayarlı transformatör

Tablo 3.4 Deneylerde kullanılan ölçüm aletleri (devamı)

Devir (Rpm) ölçer	Digimax DMZN96
Su basınç farkı	Digimax DM-DPT-300W

Deneysel çalışmalarda deneyler süresince belirli zamanlarda sapmalar meydana gelmektedir. Bu sapmalardan kaynaklı deney verisi hatalarını belirleyebilmek için belirsizlik analizleri yapılmaktadır. Belirsizlik analizlerinde deneylerde kullanılan ölçüm aletlerinin hassasiyet değerleri kullanılmaktadır. Bu sayede deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen verilerin değerlendirilmesi daha doğru bir yaklaşımla yapılabilmektedir. Deneysel çalışmalarda kullanılan ölçüm aletlerinin çalışma aralıkları ve hassasiyet oranları Tablo 3.5'te gösterilmiştir.

Tablo 3.5 Deneylerde kullanılan ölçüm aletlerinin hassasiyet oranları

Deney Ölçüm Aleti	**Hassasiyet (Belirsizlik)**	**Çalışma Aralıkları**
Sıcaklık ölçer	± 0,05	-50°C - 270°C
Bağıl nem ölçer	± 0,2°C	RH% 0 – 99.9 -20°C - 80°C
Güç ölçer	± 0,1	-
Lüle fark basıncı	± %0,25	± 5"WC
Hava statik basıncı	± %0,25	± 5"WC
Su debisi ölçer	%± 0.2, ±1mm/s	-20°C - 50°C

Tablo 3.5 Deneylerde kullanılan ölçüm aletlerinin hassasiyet oranları (devamı)

Su basınç farkı	± 0,1	0~20Kpa … 35Kpa… ~2MPa -20°C - 80°C

3.6 Deneylerin Yapılışı

Deneysel çalışmada sırasıyla 10 farklı boyutta ve kapasitede fan coillerin deneyleri yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan deney düzeneği farklı boyutta ve kapasitedeki fan coillerin deneylerinin yapılmasına olanak sağlamaktadır. Deney düzeneği bölümünde bahsedilen fan coil modellerine göre özel olarak tasarlanmış redüksiyon kanallar yardımıyla farklı fan coillerin deneyleri yapılmıştır. Bir fan coil modelinin deneyleri tamamlandıktan sonra ilgili fan coil modeline uygun olan redüksiyon kanal bağlantısı deney düzeneğinden demonte edilmektedir. Daha sonra deneyleri yapılacak olan bir sonraki fan coile uygun redüksiyon bağlantısı deney düzeneğine monte edilmektedir. Deneysel çalışmalarda farklı bir fan coil modeline geçerken bu işlem sürekli olarak tekrarlanmaktadır.

Deneyleri yapılacak olan fan coil redüksiyon kanal bağlantısına bağlanmaktadır. Deneylere başlamadan önce lüle açıklıklarına karar verilmelidir. Deneyleri yapılacak olan fan coilin hava hacimsel debisine göre lülelerdeki hava hızının 15 m/s ila 36 m/s aralığında tutacak şekilde ilgili lüleler açık tutulup diğer lüleler kapalı tutulmaktadır. Deneyler süresince ihtiyaç duyulan lüle açıklıkları belirlenirken fan coilin beslediği havanın homojen bir şekilde lülelerden geçmesi için simetrik bir şekilde lüleler açık tutulmaktadır. Deneyler süresince sürekli olarak lüle statik basınç kayıpları kontrol edilerek deneyler esnasında lülelerdeki hava hızlarının istenilen aralıkta tutulduğuna emin olunmaktadır.

Deneyler süresince lülelerdeki hava hızı istenilen aralık dışına çıktığı fark edildiğinde deneyler durdurulup lüle açıklıkları tekrar değerlendirilmektedir. Lülelerdeki hava hızı istenilen aralığın üstüne çıktığında hava hızını istenilen aralığa düşürmek için lüle açıklık alanını arttıracak yönde ilgili lüleler açılıp diğer lüleler kapalı tutulmaktadır. Lülelerdeki hava hızı istenilen aralığın altına düştüğünde hava hızını istenilen aralığa arttırmak için lüle açıklık alanını azaltacak yönde ilgili lüleler açılıp diğer lüleler kapalı tutulmaktadır.

3.6.1 Fan Coil Hava Debisi Deneyleri

Hava debisi deneyleri fan coilin hava hacimsel dibisinin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Bu kapsamda deneysel çalışmalar dahili kontrollü EC fan coil motoru ile 2-8VDC sinyal aralığı ve 0-60Pa fan coil dış statik basınç kaybı aralığında 10 farklı boyutta ve kapasitedeki fan coiller için sırayla yapılmıştır.

Deneylerde fan coil motoru için başlangıç sinyal voltajı 2VDC altında motorun aşırı ısınma riski bulunduğu için 2VDC olarak kabul edilmiştir. Fan coil motoru için maksimum çalışma sinyal voltajı 8VDC olarak kabul edilmiştir. 8VDC sinyal voltajı üzerinde fan coil motor devrinin kayda değer bir artış göstermediği ve 8VDC sinyal voltajında istenilen hava debisi kapasitelerine ulaşıldığı gözlemlenmiştir. Belirli bir boyuttan düşük fan coiller için fan coil motoru için bu maksimum çalışma değeri 7VDC olarak belirlenmiştir. Deneysel çalışmalar 230V şebeke geriliminde yapılmıştır. Deneylerde şebeke gerilimi deneylerde kullanılan ölçüm aletlerinde bahsedilen voltaj transformatörü ile ayarlanmıştır.

Hava debisi hesabında faydalanılacak olan hava yoğunluğunu hesaplamak için deneyler süresince labaratuvar ortam sıcaklığı ve bağıl nemi not edilmektedir. Deneyler süresince fan coilin kontrolü oda termostatı ile yapılmıştır.

Deneylerde fan coil fanının toplam statik çalışma basınç kaybını ölçmek için fan giriş ve çıkış noktalarından basınç ölçerler ile çoklu basınç kaybı ölçümleri yapılmıştır. Fan giriş ve çıkış noktalarındaki basınç kayıplarının farkları alınarak fanın toplam statik basınç kaybı elde edilmiştir.

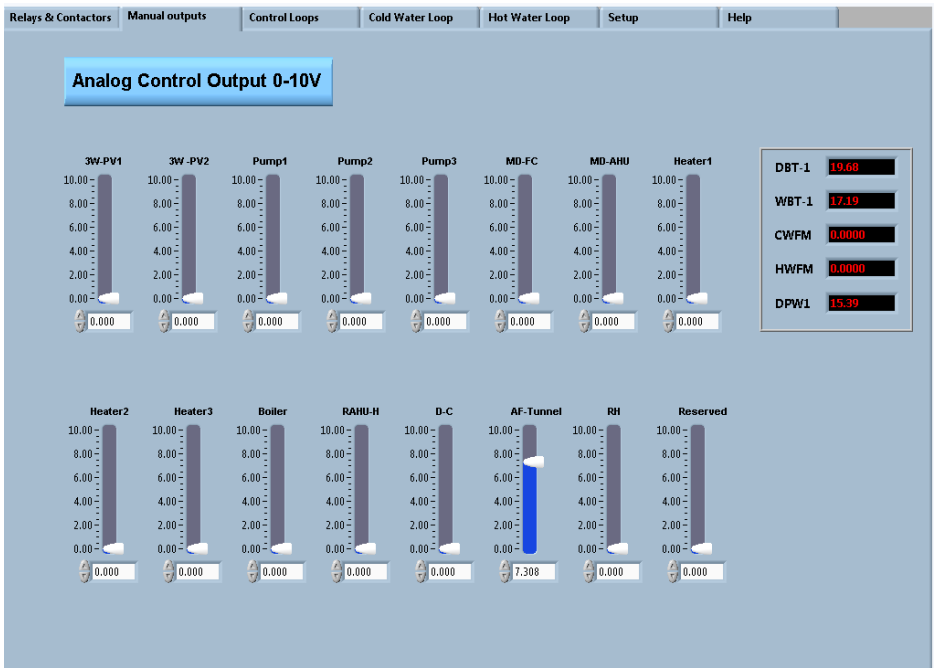
Motor güç tüketimi, motor akımı ve güç faktörü gibi deney verileri deneylerde kullanılan ölçüm aletleri bölümünde bahsedilen güç ölçüm aleti ile elde edilmiştir.

Deneyleri yapılacak olan fan coil deney düzeneğine bağlanıp uygun lüle açıklığı yapıldıktan sonra deneylere başlanılmaktadır. Fan coil yapılacak olan deneyin EC motor sinyaline oda termostatı ile ayarlanmaktadır. Daha sonra fan coil dış statik basınç kaybı deney düzeneğindeki yardımcı radyal fanın sinyal voltajı ayarlanılarak deney dış statik basınç kaybına ayarlanmaktadır. Fan coil dış statik basınç kaybı ayarlandıktan sonra ilgili EC motor voltajı ve dış statik basınç kaybına ait deney verileri raporlanmaktadır. Fan coil hava debisi deney verileri Tablo 3.6'da listelenmiştir.

Tablo 3.6 Fan coil hava debisi deney verileri

Veri No	Deney Verisi
1	Lüle açıklık bilgisi
2	Motor güç tüketimi (watt)
3	Motor akımı (amper)
4	Güç faktörü
5	Fan devri (rpm)
6	Fan çalışma basıncı (Pa)

Hava debisi deneylerinde yardımcı radyal fanın ve ısıl kapasite deneylerinde pompa ve vana grubu, klima santrali ısıtıcı bataryası, elektrikli ısıtıcı, buharlı nemlendirici, boru üzeri bant ısıtıcının oransal olarak kontrolü Şekil 3.21'de gösterilen ekran yardımıyla yapılmaktadır.



Şekil 3.21 Fan coil test labararuvarı ekipmanlarının kontrol ekranı

Deney verileri raporlandıktan sonra bir sonraki dış statik basınç kaybı deney verilerini elde etmek için tekrar deney düzeneği radyal fanı voltajı ayarlanmaktadır. İstenilen dış statik basınç kaybı elde edilince tekrar deney verileri raporlanmaktadır. Bu şekilde ilgili EC motor voltajı için 10Pa sıklıkla 0-60Pa dış statik basınç kaybı aralığında deney verileri elde edilmektedir. Daha sonra oda termostatı ile fan coil bir sonraki EC motor voltajına ayarlanılarak yapılan deneysel çalışmalar tekrar edilmektedir. Bu sayede fan coilin istenilen tüm EC motor voltajlarında ve 0-60Pa dış statik basınç kayıplarında Tablo 3.6'da listelenen deney verileri elde edilmektedir.

Fan coil hava debisi deneyleri için örnek deney sonuçları rapor tablosu Tablo 3.7'de verilmiştir.

Tablo 3.7 Fan coil hava debisi örnek deney sonuçları raporu

Fan coil ünitesi	Size 08					
Batarya tipi	3+1 sıra					
EC Motor voltajı	6 volt					
Dış statik basınç	0Pa	10Pa	20Pa	30Pa	45Pa	60Pa
Açık lüle sayısı	3	3	3	3	3	3
Fan gücü[watt]	11	10	10	9	8	6
Motor akımı[A]	0,099	0,091	0,087	0,084	0,076	0,064
Güç faktörü	0,596	0,593	0,595	0,576	0,543	0,534
Fan devri(rpm)	1122	1122	1123	1122	1120	1121
Fan Working Pressure (Pa)	42,0	45,6	50,2	54,2	61,5	64,1
Hava hacimsel debisi (m^3/h)	1741	1613	1504	1398	1187	887

3.6.2 Isıl Kapasite Deneyleri

Fan coil ısıl kapasite(soğutma kapasitesi) deneyleri fan coil hava hacimsel debisi deneylerine paralel olarak yürütülmüştür. Isıl kapasite deneylerine başlamadan önce fan coil hava giriş şartları deney şartları bölümünde bahsedilen şartlara getirilmektedir. Bunun için test labaratuvarı üzerinde bulunan klima santrali ile labaratuvar ortamına hava beslenmektedir. Beslenen hava fan coil hava giriş şartları ihtiyacına göre klima santrali içerisindeki ısıtıcı batarya, elektrikli ısıtıcı ve buharlı nemlendirici oransal kontrollü olarak sürekli şartlandırılmaktadır.

Fan coil giriş havasının şartlandırılmasına paralel olarak fan coil bataryasına beslenen soğutma suyunun şartlandırılması da yapılmaktadır. Chillerler tarafından beslenen soğutma suyunun fan coil bataryasına deney şartları bölümünde bahsedilen istenilen sıcaklıkta girmesi için pompa vana grubunda bulunan pompa ve vanalar oransal olarak kontrol edilmektedir.

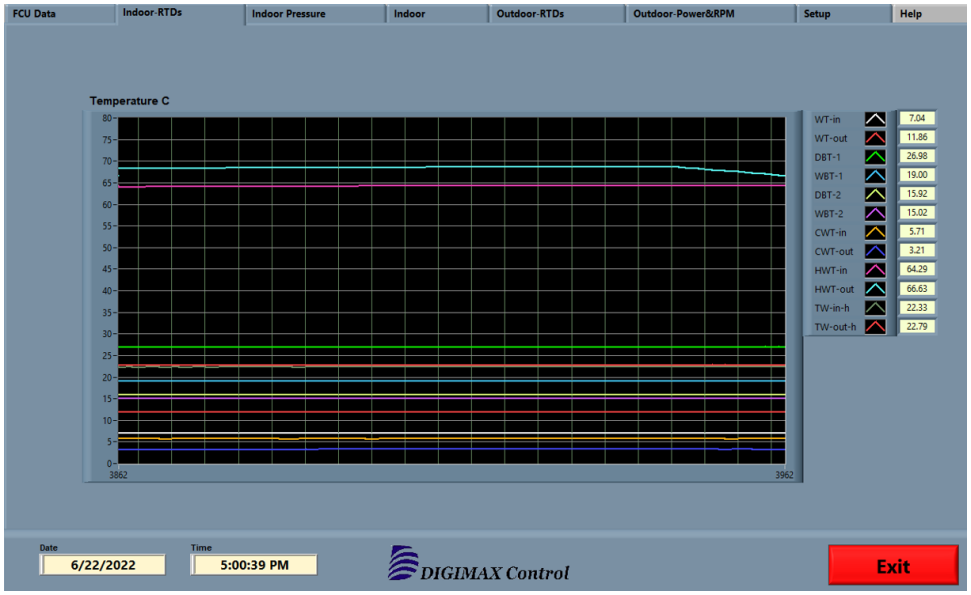
Deneysel çalışmalar süresince deney bilgisayarı ekranı üzerinden soğutma suyu giriş ve çıkış sıcaklığı, fan coil giriş ve çıkış havası yaş ve kuru termometre sıcaklıkları, chiller su giriş ve çıkış sıcaklıkları ve lüle statik basınç kaybı sürekli olarak takip edilmiştir. İstenen deney şartları sağlandığında deney verileri alınmıştır.

Fan coil giriş havası kuru termometre ve yaş termometre sıcaklığı, fan coil bataryası su giriş ve çıkış sıcaklığı ve chiller set sıcaklığı Şekil 3.22'de gösterilen ekranda kontrol edilmiştir.



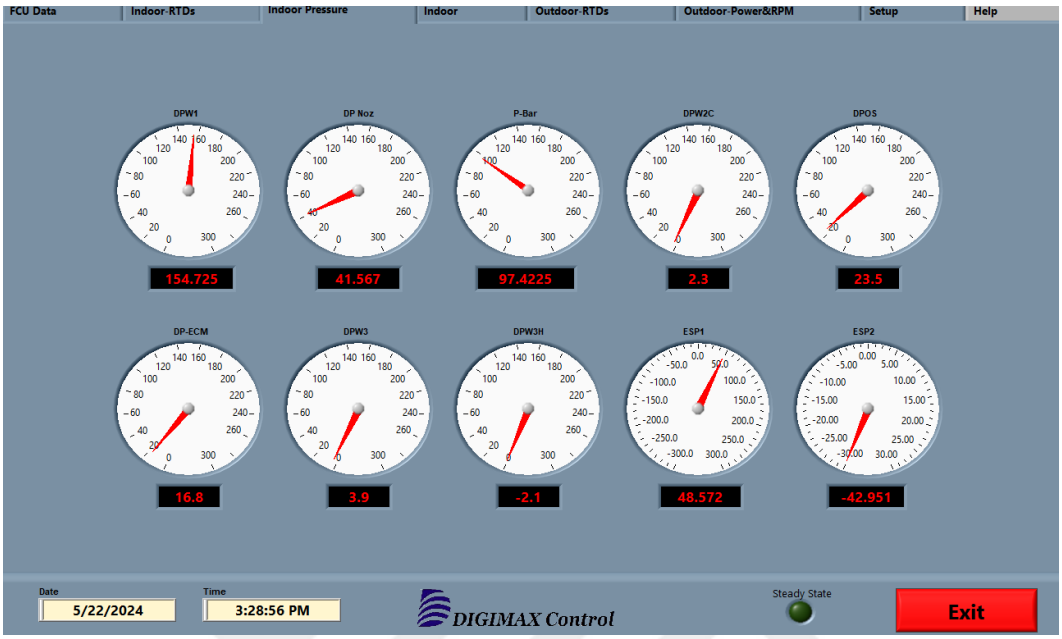
Şekil 3.22 Fan coil deney şartlarının kontrol ekranı

Isıl kapasite testlerinde fan coil havası giriş ve çıkış kuru ve yaş termometre sıcaklıkları, fan coil bataryası giriş ve çıkış su sıcaklıkları, chillerlerin giriş ve çıkış su sıcaklıkları, klima santralinin ısıtıcı bataryasına sıcak su besleyen ısıtıcının giriş ve çıkış su sıcaklıkları Şekil 3.23'te gösterilen ekran yardımıyla deneysel çalışmalar süresince anlık olarak takip edilmektedir.



Şekil 3.23 Fan coil ısıl kapasite deney verilerinin anlık olarak takip edildiği ekran

Deneysel çalışmalar süresince deney düzeneğinin hava tarafı ve akışkan tarafındaki basınç kayıpları Şekil 3.24'te gösterilen ekran yardımıyla anlık olarak takip edilmektedir.



Şekil 3.24 Fan coil deney düzeneği basınç kayıplarının takip edildiği ekran

Fan coil giriş havası ve fan coil bataryasına beslenen soğutma suyu deney şartları bölümünde bahsedilen şartlara getirildikten sonra bilgisayar ortamında deney verileri 2 saniye aralıklarla anlık olarak kaydedilmektedir. Fan coil ısıl kapasite(soğutma kapasitesi) deney verileri Tablo 3.8'de listelenmiştir.

Tablo 3.8 Fan coil ısıl kapasite(soğutma kapasitesi) deney verileri

Veri No	Deney Verisi
1	Su giriş sıcaklığı (°C)
2	Su çıkış sıcaklığı (°C)
3	Hava giriş kuru termometre sıcaklığı (°C)
4	Hava giriş yaş termometre sıcaklığı (°C)

Tablo 3.8 Fan coil ısıl kapasite(soğutma kapasitesi) deney verileri (devamı)

5	Hava çıkış kuru termometre sıcaklığı (°C)
6	Hava çıkış yaş termometre sıcaklığı (°C)

Deney verileri kayıt alınırken anlık olarak deney giriş şartları dışına çıkan deney verileri de elde edilmiştir. Isıl kapasite(soğutma kapasitesi) deney verileri değerlendirilirken deney giriş şartları dışına çıkan noktalardaki veriler filtrelenilerek elenmiştir. Daha sonrasında kalan deney verilerinin hepsi deney giriş şartlarında olan deney verileridir. Bu deney giriş şartlarında olan deney verilerinin ortalamaları alınarak deney sonuçları elde edilmiştir.

Fan coil ısıl kapasite(soğutma kapasitesi) deneyleri için örnek deney sonuçları rapor tablosu Tablo 3.9'da verilmiştir.

Tablo 3.9 Fan coil soğutma kapasitesi deneyleri örnek deney sonuçları raporu

No	**WT_{in}**	**WT_{out}**	**DBT_1**	**WBT_1**	**DBT_2**	**WBT_2**
1	7.110	11.840	27.090	19.000	16.390	19.460
2	7.110	11.860	27.090	19.010	16.360	19.460
3	7.130	11.860	27.060	19.000	16.390	19.460
4	7.140	11.870	27.040	18.990	16.400	19.470
5	7.140	11.870	27.030	18.970	16.430	19.480
6	7.140	11.900	27.010	18.960	16.420	19.470
7	7.150	11.940	26.990	18.960	16.450	19.490
8	7.160	11.930	26.980	18.950	16.460	19.490
9	7.160	11.940	26.970	18.950	16.460	19.500
10	7.160	11.950	26.960	18.930	16.470	19.500

Tablo 3.9 Fan coil soğutma kapasitesi deneyleri örnek deney sonuçları raporu (devamı)

11	7.170	11.950	26.930	18.920	16.470	19.480
12	7.180	11.950	26.920	18.920	16.480	19.500
13	7.200	11.950	26.910	18.890	16.500	19.480
14	7.200	11.940	26.900	18.890	16.500	19.500
15	7.220	11.910	26.860	18.860	16.480	19.480
16	7.210	11.920	26.850	18.840	16.470	19.470
17	7.220	11.930	26.820	18.840	16.430	19.470
18	7.230	12.000	26.810	18.840	16.440	19.460

Tablo 3.9'daki deney sonuçları Size 08 fan coil ünitesinin 0Pa dış statik basınçta 4V EC motor voltajındaki deney sonuçlarıdır.

4
DENEY VERİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

4.1 Fan Coil Hava Debisinin Hesaplanması

Bu çalışma kapsamında yürütülen deneylerde fan coilin hava debisinin hesaplanması ve daha sonrasında fan coil modellerine göre ısıl kapasitelerinin(soğutma kapasitesi) belirlenmesi amaçlanmıştır.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen veriler kullanılarak ilk olarak fan coilin hava debisi hesaplanmıştır. Fan coilin hava debisi hesaplanırken deney düzeneğinde bulunan lülelerden geçen hava hızlarından faydalanılmıştır. Lüle hava hızları lüle fark basıncı ölçülerek belirlenmektedir. Lüle hava hızlarından faydalanılarak lülelerden geçen hava debileri belirlenmiştir.

Fan coilin hacimsel hava debisinin hesaplanması için (4.1) denklemi kullanılmıştır [18].

$$V = Y \times \sqrt{\frac{2 \times \Delta P}{\rho}} \times C \times A \tag{4.1}$$

Bu denklemde;

V: Hava Debisi [m³/s]

Y = Lüle Genleşme Faktörü [boyutsuz]

ΔP = Lüle Fark Basıncı [Pa]

ρ = Hava Yoğunluğu [kg/m³]

C = Lüle Boşaltma Katsayısı [boyutsuz]

A = Lüle Alanı [m²]

Lüle genleşme faktörü (4.2)'den hesaplanabilir [18].

$$Y = 1 - \left(0.548 + 0.71 \times \beta^4\right) \times (1 - \alpha) \tag{4.2}$$

Bu denklemde;

α oranı lülelerin giriş mutlak basınçlarının çıkış mutlak basınçlarına oranıdır.

β oranı deney düzeneğinde kullanılan lülelerin çıkış hidrolik çapının kanal hidrolik çapına oranı olup (4.3)'ten hesaplanabilir.

$$\beta = \frac{D_l}{D_k} \tag{4.3}$$

β oranı çok küçük olduğu için β sıfır kabul edilebilir [18].

(4.1) denkleminde bulunan ΔP değeri lüle fark basıncıdır. Lüle fark basıncı lülelerin giriş ve çıkış basınçlarının farkları olacak şekilde deneyler süresince elde edilmektedir.

(4.1)'de bulunan ρ değeri havanın yoğunluğu olup (4.4)'ten hesaplanabilir [21].

$$\rho = \frac{P_a - 0{,}378 \times P_v}{287 \times T_a} \tag{4.4}$$

Bu denklemde;

P_a : Atmosfer basıncı [Pa] , deneyler süresince barometrik basınç ölçer ile ölçülmektedir.

T_a : Hava kuru termometre sıcaklığı [K]

P_v : Kısmi buhar basıncı [Pa], (4.5)'ten hesaplanabilir [21].

$$P_v = h_u \times (P_{sat}) \tag{4.5}$$

Bu denklemde;

h_u : Havanın bağıl nem değeri [%] , deneyler süresince nem ölçer ile elde edilmektedir.

P_{sat} : Doyma basıncı [Pa] , (4.6)'dan hesaplanabilir [21].

$$P_{sat} = exp\left(\frac{17{,}438 \times T_a}{239{,}78 + T_a} + 64147\right) \tag{4.6}$$

Denklem (4.1)'de bulunan C değeri lüle boşaltma katsayısı olup (4.7)'den hesaplanabilir [18].

$$C = 0.9986 - \left(\frac{7.006}{\sqrt{Re}}\right) + \left(\frac{134.6}{Re}\right) \quad (4.7)$$

Bu denklemde;

Re : Reynolds sayısı [boyutsuz], (4.8)'den hesaplanabilir [18].

$$Re = \frac{D \times v \times \rho}{\alpha} \quad (4.8)$$

Denklem (4.1)'de bulunan A değeri lüle açıklık alanı olup lüle çapına göre (4.9)'dan hesaplanabilir.

$$A = \frac{\pi \times D^2}{4} \quad (4.9)$$

Tüm parametreler hesaplanıp (4.1)'de yerine konulduğunda fan coil hava hacimsel debisi elde edilmektedir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda fan coil ünitelerinin hava hacimsel debileri hesaplanmış ve daha sonrasında hava debilerinden faydalanılarak fan coil'in ısıl kapasitesi(soğutma kapasitesi) hesaplanmıştır.

4.2 Fan Coil Soğutma Kapasitesinin Hesaplanması

Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen verilere göre fan coilin soğutma kapasitesi akışkan(su) tarafı toplam ısı transferi hesaplanılarak elde edilmiştir. Bu bölümde fan coil'in soğutma kapasitesinin hesaplama yöntemi anlatılmıştır.

Fan coil su tarafı ısı transferi (4.10) denklemi ile aşağıdaki gibi hesaplanmıştır,

$$Q_{ct} = V \times \rho_w \times c_P \times (T_g - T_ç) \quad (4.10)$$

Bu denklemde;

Q_c : Su tarafı toplam ısı transferi [W]

V : Su debisi [l/s]

ρ_w : Suyun yoğunluğu [kg/m³]

c_p : Suyun özgül ısısı [kj/kg°C]

T_g : Suyun fan coil bataryasına giriş sıcaklığı [°C]

$T_Ç$: Suyun fan coil bataryasından çıkış sıcaklığı [°C]

Yapılan deneysel çalışmalar süresince suyun yoğunluğu ve özgül ısısı değişmediği kabul edilerek sırasıyla 999,87 kg/m³ ve 4,194 [kj/kg°C] olacak şekilde sabit alınmıştır.

Su debisi deneylerde kullanılan ölçüm aletleri bölümünde bahsedilen elektromanyetik debi metre ile ölçülmüştür.

Fan coil ünitelerinde soğutma deneylerinde soğutma kapasitesinden fan coil motorunun çektiği elektrik gücü çıkarılmaktadır. Aynı zamanda fan coil ısıtma deneylerinde fan coil motorunun çektiği elektrik gücü fan coil ısıtma kapasitesine eklenmektedir [19].

Fan coil motorunun çektiği elektrik gücü (4.11)'de fan coil soğutma kapasitesinden çıkartılmıştır.

$$Q_c = Q_{ct} - P_e \tag{4.11}$$

Fan coil ünitesinde motorun çektiği güç deneylerde kullanılan ölçüm aletleri bölümünde bahsedilen dijital güç ölçer ile ölçülmüştür.

4.3 Belirsizlik Analizi

Deneysel çalışmalar süresince farklı nedenlere bağlı olarak hatalar meydana gelmektedir. Bu hatalar dikkatsizlik veya deney yapan kişinin tecrübesizliğinden kaynaklanabildiği gibi deney şartlarında öngörülemeyen, kontrol edilemeyen değişikliklerden dolayı da meydana gelebilir. Aynı zamanda deneyler süresince yapılan ölçümlerde sürekli, belirli ve öngörülebilir oranlarda hatalar meydana gelmektedir. Yapılan her deney aynı koşullarda yapılmış olsa bile deneylerde kullanılan ölçüm aletlerinin hassasiyetlerinden dolayı deney sonuçlarında hatalar meydana gelmektedir. Deneyler yapıldıktan sonra sonuçların elde edilmesi kadar önemli olan diğer bir konuda ölçülen deney verilerinin doğruluğudur. Bunun için

deneyler yapıldıktan sonra bu deneylere ait sistematik veya sabit hata oranlarının belirlenebilmesi için belirsizlik(hassasiyet) analizleri yapılmalıdır. Bu nedenle bu çalışma kapsamında yapılan deneyler sonucunda hata oranlarının belirlenebilmesi için belirsizlik analizleri yapılmış ve hata oranları ortaya konulmuştur.

Yapılan belirsizlik analizinde hata oranına etki eden ve hesap denkleminde bulunan belirli sayıdaki değişken x_1, x_2, ... , x_n'dir. Bu değişkenleri ölçerken meydana gelen hata(sapma) oranları w_1, w_2, ... , w_n'dir. Hesaplanması gereken deney verisi R ve bu deney verisi hesaplanırken meydana gelen toplam hata oranı W_R olmak üzere, W_R (4.12) yardımıyla hesaplanabilir [22].

$R=R(x_1, x_2, x_3, x_4 \dots , x_n)$

$$W_R = \pm\left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1}w_1\right)^2+\left(\frac{\partial R}{\partial x_2}w_2\right)^2+\left(\frac{\partial R}{\partial x_3}w_3\right)^2+\cdots+\left(\frac{\partial R}{\partial x_n}w_n\right)^2\right]^{1/2} \quad (4.12)$$

4.3.1 Fan Coil Hava Debisi Deneylerinin Belirsizlik Analizi

Fan coil hava debisi belirleme deneylerinde belirsizlik analizi için hesaplanan R değeri hava debisidir.

$V = f(Y, \Delta P, \rho, C, A)$

Denlem (4.1)'de hava yoğunluğu yerine havanın özgül hacmi (ϑ) koyulursa (4.13) elde edilmektedir.

$$V = Y \times \sqrt{2 \times \Delta P \times \vartheta} \times C \times A \quad (4.13)$$

Hava debisi deneyleri toplam hata oranı (4.11)'den faydalanılarak oluşturulan (4.14)'ten bulunabilir.

$$W_V = \pm\left[\left(\frac{\partial V}{\partial Y}w_Y\right)^2+\left(\frac{\partial V}{\partial \Delta P}w_{\Delta P}\right)^2+\left(\frac{\partial V}{\partial \vartheta}w_{\vartheta}\right)^2+\left(\frac{\partial V}{\partial C}w_C\right)^2+\left(\frac{\partial V}{\partial A}w_A\right)^2\right]^{1/2} \quad (4.14)$$

Bu denklemde bulunan kısmi türevler sırasıyla;

$$\frac{\partial V}{\partial Y} = (2 \times \Delta P \times \vartheta)^{\frac{1}{2}} \times C \times A \tag{4.15}$$

$$\frac{\partial V}{\partial \Delta P} = Y \times \vartheta \times (2 \times \Delta P \times \vartheta)^{-\frac{1}{2}} \times C \times A \tag{4.16}$$

$$\frac{\partial V}{\partial \vartheta} = Y \times \Delta P \times (2 \times \Delta P \times \vartheta)^{-\frac{1}{2}} \times C \times A \tag{4.17}$$

$$\frac{\partial V}{\partial \mathrm{C}} = Y \times (2 \times \Delta P \times \vartheta)^{\frac{1}{2}} \times A \tag{4.18}$$

$$\frac{\partial V}{\partial \mathrm{A}} = Y \times (2 \times \Delta P \times \vartheta)^{\frac{1}{2}} \times C \tag{4.19}$$

Denklem (4.13) için hata oranları;

Havanın özgül ısısı, lüle genleşme faktörü ve lüle boşaltma katsayısı için sırasıyla w_ϑ = 0,0045, w_Y = 0,012, w_C = 0,012 [18].

Deneylerde kullanılan ölçüm aletlerinin hassasiyetine göre lüle fark basıncı ve lüle açıklık alanı için sırasıyla $w_{\Delta P}$ = 0,0025 ve w_A = 0,00001'dir.

Belirtilen hata oranları ve denklem (4.13)'te bulunan kısmi türevlerin karşılıkları yerine konulup deneyleri yapılan bir fan coil ünitesi için 3 farklı fan devrinde hata oranları hesaplanmış ve Tablo 4.1'de gösterilmiştir.

Tablo 4.1 Fan coil hava debisi deneyleri belirsizlik analizi sonuçları

EC Motor Voltajı [V]	**Test Sonucu [m³/h]**	**Hata Analizi Sonucu [m³/h]**	**Hata Yüzdesi [%]**
8	2176,45	37,78	1,736
6	1741,48	30,15	1,731
4	1287,42	22,32	1,734

4.3.2 Fan Coil Isıl Kapasite Belirleme Deneylerinin Belirsizlik Analizi

Fan coil ısıl kapasite(soğutma kapasitesi) belirleme deneylerinde belirsizlik analizi için hesaplanan R değeri soğutma kapasitesidir.

$Q_c = f\ (V, \rho, c_p, T_g - T_ç)$

Su hacimsel debisi ve su yoğunluğu yerine su kütlesel debisi koyulursa;

$Q_c = f\ (m, c_p, T_g - T_ç)$

Isıl kapasite deneyleri toplam hata oranı denklem (4.11)'den faydalanılarak oluşturulan denklem (4.20)'den bulunabilir.

$$W_{Q_c} = \pm \left[\left(\frac{\partial Q_c}{\partial m} w_m \right)^2 + \left(\frac{\partial Q_c}{\partial c_P} w_{c_P} \right)^2 + \left(\frac{\partial Q_c}{\partial T_g} w_{T_g} \right)^2 + \left(\frac{\partial Q_c}{\partial T_ç} w_{T_ç} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (4.20)$$

Bu denklemde bulunan kısmi türevler sırasıyla;

$$\frac{\partial Q_c}{\partial m} = c_P \times (T_g - T_ç) \quad (4.21)$$

$$\frac{\partial Q_c}{\partial T_g} = m \times c_P \quad (4.22)$$

$$\frac{\partial Q_c}{\partial T_ç} = m \times c_P \quad (4.23)$$

Yapılan deneyler boyunca suyun özgül ısı (c_p) değeri 4,194 [kj/kg°C] olarak sabit kabul edilmiştir.

Deneylerde kullanılan ölçüm aletlerinin ölçüm hassasiyetlerine göre hata oranları su debisi, giriş ve çıkış sıcaklıkları için sırasıyla w_m=0,004 , w_{Tg}=0,05 ve $w_{Tç}$=0,05'tir.

Belirtilen hata oranları ve denklem (4.13)'te bulunan kısmi türevlerin karşılıkları yerine konulup deneyleri yapılan bir fan coil ünitesi için 3 farklı fan devrinde hata oranları hesaplanmış ve Tablo 4.2'de gösterilmiştir.

Tablo 4.2 Fan coil ısıl kapasite deneyleri belirsizlik analizi sonuçları

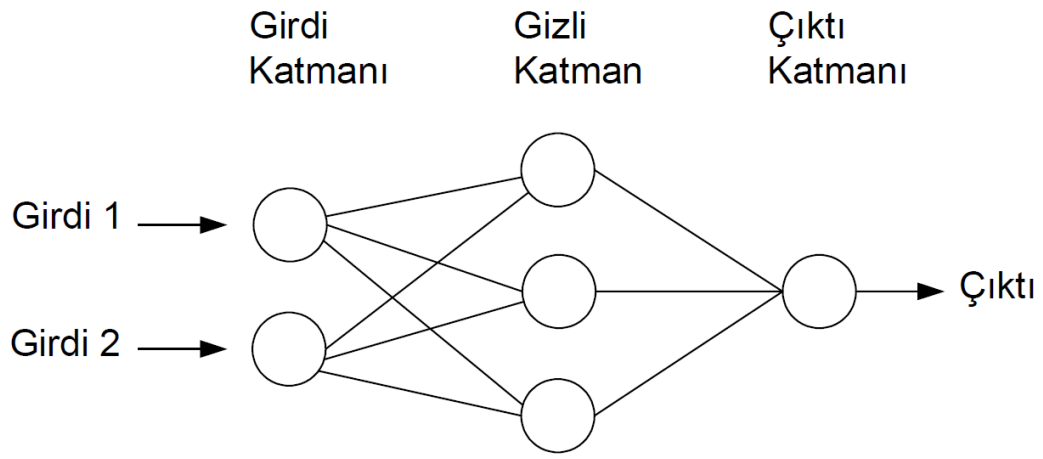
EC Motor Voltajı [V]	**Soğutma Kapasitesi Test Sonucu [W]**	**Hata Analizi Sonucu[W]**	**Hata Yüzdesi [%]**
4	6642,85	91,92	1,384
6	7997,34	115,64	1,446
8	9702,82	136,40	1,406

5
SAYISAL MODEL

5.1 YSA Modeli Geliştirme

Deneysel çalışmaları yapılan fan coil ünitelerinin önemli performans parametrelerini tahmin etmek ve belirleyebilmek için 4 farklı YSA modeli oluşturulmuştur. Deney verileri ve onları etkileyen deney parametreleri değerlendirilerek tahmin edilmek istenen deney verileri için girdi parametreleri belirlenmiştir. Her bir YSA modeli kendi içerisinde değerlendirilip çıktı parametreleri ile girdi parametreleri arasındaki ilişki belirlenmeye çalışılmıştır.

Yapılan çalışmada ileri beslemeli geri yayılımlı çok katmanlı algılama(MLP) ağ modeli kullanılarak YSA modelleri oluşturulmuştur. Sinir ağlarında sıklıkla kullanılan MLP ağ modeli temelde üç ana katmandan oluşmaktadır. Farklı sayıdaki nörona sahip olan bu katmanlar sırasıyla eğitim verilerinin tanıtıldığı giriş katmanı, sayısal parametrelerin bulunduğu gizli katman ve tahmin edilecek değerlerin bulunduğu çıkış katmanıdır. Başlangıçta katmanlarda bulunan nöronlar bir önceki katmanın nöronlarıyla birbirine bağlanır. Daha sonrasında belirli işlemlerden sonra bir sonraki katmanın nöronlarına bağlanır [23]. YSA ağ modelleri içerisinde MLP ağ modelleri öğrenme yeteneklerinin yüksek olması ve yapılarının sağlam olması nedeniyle sık kullanılmaktadır [24, 25, 26]. MLP ağ modelinin örnek bir yapısı Şekil 5.1'de gösterilmektedir.



Şekil 5.1 MLP ağ modelinin şematik gösterimi

YSA modelleri tasarımında önemli etkenlerden biri de girdi parametrelerinin doğru ve yüksek tahmin yeteniği olacak şekilde eğitilmesi için uygun eğitim algoritmasının belirlenmesidir. Bu çalışma kapsamında tasarlanan YSA modellerinde eğitim algoritması olarak Levenberg-Marquardt eğitim algoritması kullanılmıştır. YSA modellerinin geliştirilmesinde sıklıkla kullanılan Levenberg-Marquardt algoritması yüksek eğitim yeteneğine sahiptir [27, 28].

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda deney verilerini düşük sapma oranları ile tahmin edebilmek için YSA ağ modellerinin tasarımında deney verilerinin gruplandırılmasının düzgün bir şekilde yapılması gereklidir. Aynı zamanda YSA modellerinin sapma oranlarının düşük olması için yeterli sayıda deney verisi kullanılması önemlidir. Az sayıda deney verisi kullanılan YSA modellerinde tahmin yeteneği düşük ve sapma oranları yüksek olabilmektedir [29].

Diğer bir yandan YSA modelerinin tahmin yeteneğinin yüksek olması için deney verilerinde girdi parametrelerinin gereksiz bir şekilde fazla kullanılması sapma oranlarını düşürmesinin aksine öğrenim algoritmasını olumsuz yönde etkilediği ve YSA modellerinin sapma oranlarının arttırdığı görülmektedir [11].

Bu çalışma kapsamında yapılan 4 farklı YSA modeli özellikleri bu bölümün devamında sırasıyla verilmektedir.

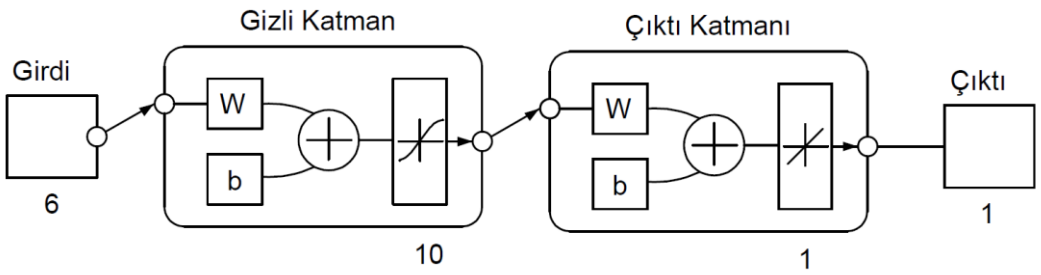
5.1.1 YSA Model 1

Fan coil ünitelerinin deneysel olarak elde edilen hava hacimsel debilerinin tahmin edilebilmesi için YSA Model 1 geliştirilmiştir. YSA Model 1'de fan coil hava debisine etki eden önemli parametreler değerlendirilip belirlenmiş ve MLP ağ modelinin girdi katmanında tanıtılmıştır. Fan coil hava tarafı statik basınç kaybı ve fan coil fanının çalışma noktası hava hacimsel debisine etki etmektedir. Hava tarafı statik basınç kaybı ne kadar fazla olursa fan coil fanının sağlayacağı hava debisi azalır. Aynı zamanda fan coil fanının çalışma frekansı ne kadar fazla olursa fanın sağlayacağı hava debisi artacaktır. Bütün faktörler göz önünde bulundurulduğunda fan coil bataryasının boyutları ve önemli notasyon parametreleri, fan coil fanının çalışma karakteristiği ve dış statik karşı basınç fan coil hava debisini etkileyen önemli faktörlerdir. Bu faktörler göz önünde bulundurularak YSA Model 1'de hava debisi çıktı parametresine girdi olarak Tablo 5.1'de verilen 6 farklı girdi parametresi belirlenmiştir.

Tablo 5.1 YSA model 1'in girdi ve çıktı parametreleri

YSA Model 1		**Birim**
Girdi1	Boru sayısı	boyutsuz
Girdi2	Sıra sayısı	boyutsuz
Girdi3	Lamel uzunluğu	[m]
Girdi4	Devre sayısı	boyutsuz
Girdi5	EC motor voltajı	[volt]
Girdi6	Dış statik karşı basınç	[Pa]
Çıktı1	Hava debisi	[m³/h]

Levenberg-Marquardt eğitim algoritmasının kullanıldığı gizli katmanda 10 nöron bulunan YSA Model 1'in ağ yapısı Şekil 5.2'de gösterilmiştir.



Şekil 5.2 YSA model 1 ağ yapsının şematik gösterimi

5.1.2 YSA Model 2

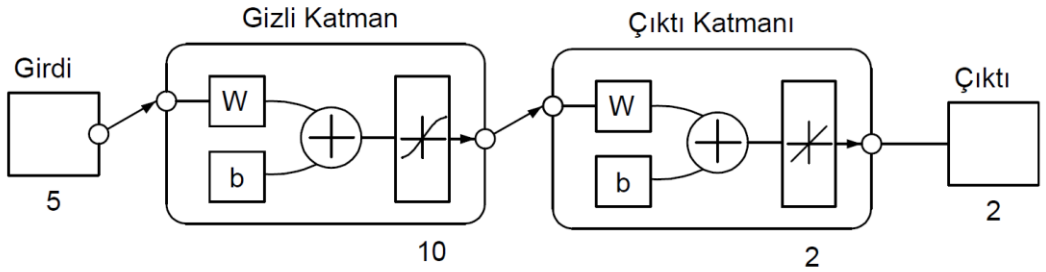
Fan coil ünitelerinin deneysel olarak elde edilen hava çıkış sıcaklıklarını ve toplam soğutma kapasitelerini tahmin etmek için YSA Model 2 geliştirilmiştir. Fan coil hava debisi, batarya boyutları ve önemli notasyon parametreleri hava çıkış sıcaklığını ve toplam soğutma kapasitesini etkileyen önemli faktörlerdir. Bu faktörler değerlendirilip belirlendikten sonra YSA Model 2 için MLP ağ modelinin girdi katmanında tanıtılmıştır.

YSA Model 2 girdi parametreleri Tablo 5.2'de verilmiştir.

Tablo 5.2 YSA model 2'nin girdi ve çıktı parametreleri

YSA Model 2		**Birim**
Girdi1	Hava debisi	[m³/h]
Girdi2	Boru sayısı	boyutsuz
Girdi3	Sıra sayısı	boyutsuz
Girdi4	Lamel uzunluğu	[m]
Girdi5	Devre sayısı	boyutsuz
Çıktı1	Hava çıkış sıcaklığı	[°C]
Çıktı2	Soğutma kapasite	[kW]

Levenberg-Marquardt eğitim algoritmasının kullanıldığı gizli katmanda 10 nöron bulunan YSA Model 2'in ağ yapısı Şekil 5.3'te gösterilmiştir.



Şekil 5.3 YSA model 2 ağ yapısının şematik gösterimi

5.1.3 YSA Model 3

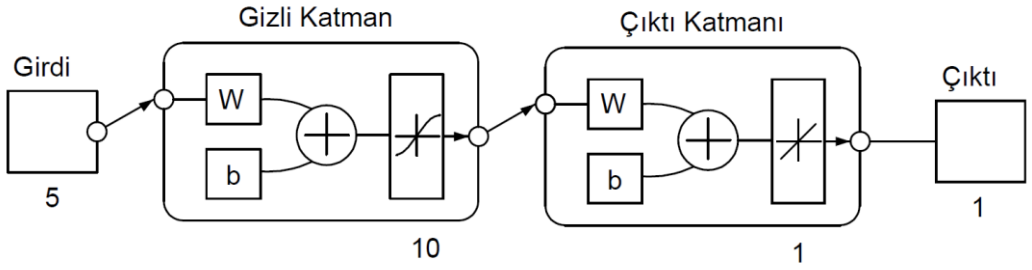
Fan coil bataryasının deneysel olarak elde edilen su basınç düşümlerinin tahmin edilebilmesi için YSA Model 3 geliştirilmiştir. Bataryanın su basınç düşümüne etki eden önemli parametreler değerlendirilip belirlenmiş ve MLP ağ modelinin girdi katmanında tanıtılmıştır. Bataryanın boyutları ve önemli notasyon parametreleri

batarya borularından geçen suyun basınç düşümüne etki eden önemli faktörlerdir. Bu faktörler göz önünde bulundurularak YSA Model 3'de su basınç düşümü çıktı parametresine girdi olarak Tablo 5.3'te verilen 5 farklı girdi parametresi belirlenmiştir.

Tablo 5.3 YSA model 3'nin girdi ve çıktı parametreleri

YSA Model 3		**Birim**
Girdi1	Boru sayısı	boyutsuz
Girdi2	Sıra sayısı	boyutsuz
Girdi3	Su Debisi	[l/s]
Girdi4	Lamel uzunluğu	[m]
Girdi5	Devre sayısı	boyutsuz
Çıktı1	Suyun basınç kaybı	[kPa]

Levenberg-Marquardt eğitim algoritmasının kullanıldığı gizli katmanda 10 nöron bulunan YSA Model 3'in ağ yapısı Şekil 5.4'te gösterilmiştir.



Şekil 5.4 YSA model 3 ağ yapsının şematik gösterimi

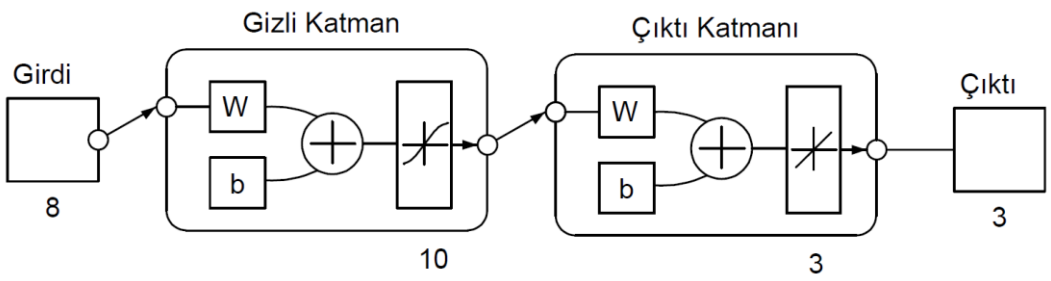
5.1.4 YSA Model 4

İlk 3 YSA modeline ek olarak tüm girdi ve çıktı parametreleri tek bir YSA modelinde toplanmış ve YSA Model 4 geliştirilmiştir. YSA Model 4'te ek olarak fan coil fan gücünün tahmin edilmesi de amaçlanmıştır. Tablo 5.4'te YSA Model 4'ün girdi ve çıktı parametreleri birimleri ile birlikte verilmiştir.

Tablo 5.4 YSA model 4'ün girdi ve çıktı parametreleri

YSA Model 4		**Birim**
Girdi1	Boru sayısı	boyutsuz
Girdi2	Sıra sayısı	boyutsuz
Girdi3	Lamel uzunluğu	[m]
Girdi4	Devre sayısı	boyutsuz
Girdi5	EC motor voltajı	[volt]
Girdi6	Dış statik karşı basınç	[Pa]
Girdi7	Hava debisi	[m^3/h]
Girdi8	Su debisi	[l/s]
Çıktı1	Hava çıkış sıcaklığı	[°C]
Çıktı2	Fan gücü	[W]
Çıktı3	Soğutma kapasitesi	[kW]

Levenberg-Marquardt eğitim algoritmasının kullanıldığı gizli katmanda 10 nöron bulunan YSA Model 4'in ağ yapısı Şekil 5.5'te gösterilmiştir.



Şekil 5.5 YSA model 4 ağ yapsının şematik gösterimi

5.2 YSA Modellerinin Doğrulanması

Yapılan çalışma kapsamında MLP ağ modelinin gizli katmanı için transfer fonksiyonu olarak Tan-Sig transfer fonksiyonu kullanılmıştır. Kullanılan Tan-Sig transfer fonksiyonu denklem (5.1)'de gösterilmektedir [30, 31].

$$f(x) = \frac{2}{1 + \exp(-2x)} - 1 \tag{5.1}$$

MLP ağ modeli çıkış katmanı için ise transfer fonksiyonu olarak Purelin transfer fonksiyonu tercih edilmiştir. Kullanılan Purelin transfer fonkisyonu denklem (5.2)'de gösterilmektedir [30, 31].

$$purelin(x) = x \tag{5.2}$$

Tasarlanan YSA modellerinin deneysel verileri tahmin edebilme yeteneğini ve performansını değerlendirebilmek için farklı performans parametreleri bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında literatürde sıklıkla kullanılan kararlılık katsayısı (R) ve ortalama kare hata (MSE) parametreleri hesaplanarak belirlenmiştir [32]. R ve MSE parametreleri sırasıyla denklem (5.3) ve Denklem (5.4)'te verilmiştir. Bu parametrelere göre geliştirilen YSA modellerinin tahmin yetenekleri ve performansları yorumlanmıştır.

$$R = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^{N}\left(X_{\exp\,(i)} - X_{ANN(i)}\right)^2}{\sum_{i=1}^{N}\left(X_{\exp\,(i)} - \bar{X}_{\mathrm{ANN}}\right)^2}} \tag{5.3}$$

$$MSE = \frac{1}{N} \times \sum_{i=1}^{N}\left(X_{\exp\,(i)} - X_{ANN(i)}\right)^2 \tag{5.4}$$

Bu performans parametrelerine ek olarak YSA model sonuçlarının ortalama sapma oranları da belirlenmiştir. Çalışmanın sonunda deneysel veriler ile yapılan YSA modellerinin tahmin ettiği veriler karşılaştırılmış ve tahminlerin sapma oranları denklem (5.5) ile hesaplanmıştır [33].

$$Sapma\ Oranı = \left[\frac{X_{exp} - X_{ANN}}{X_{exp}}\right] \times 100(\%) \tag{5.5}$$

5.3 YSA Model Sonuçları

Fan coil üniteleri HVAC+R sektöründe iç ortamların ısıtılması ve soğutulması amacıyla geniş kullanım alanına sahiptir. Fan coil ünitelerinin seçimi ve gerçek çalışma zamanında performans parametrelerinin belirlenebilmesi önemlidir. Ayrıca bu performans parametrelerinin birbiri üzerindeki etkisi de incelenmelidir. Tüm bu sebeplerden dolayı fan coil ünitelerinin performans parametrelerini tahmin etmek ve sayısal çalışmalar yapmak için çeşitli yöntemlerle model geliştirmek önemlidir.

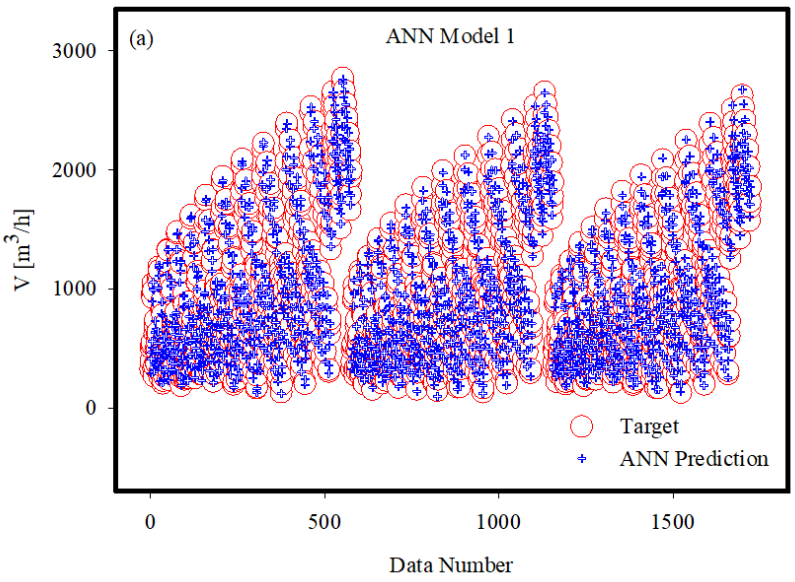
HVAC+R sektöründe yapılan literatür çalışmaları göstermektedir ki YSA modelleri ısıtma ve soğutma sistemlerinin performans çıktı parametrelerini tahmin etmekte başarılı olmuş ve düşük hata oranlarıyla sonuçlar vermiştir. Bu nedenle bu çalışmada fan coil'in önemli performans çıktı parametreleri girdi parametrelerine göre farklı gruplara ayrılarak YSA modelleri geliştirilip tahmin edilmiştir.

Deneysel çalışmalar sonucu elde edilen 1700 noktadan oluşan veri seti sonuçlarıyla YSA modelleri ile tahmin edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve YSA modellerinin performans çıktı parametrelerine göre sapma oranları belirlenmiştir. YSA modellerinin doğruluğu ve güvenirliği YSA modellerinin doğrulanması bölümünde bahsedilen MSE ve R parametreleri ile detaylı analiz edilmiştir.

5.3.1 YSA Model 1 Sonuçları

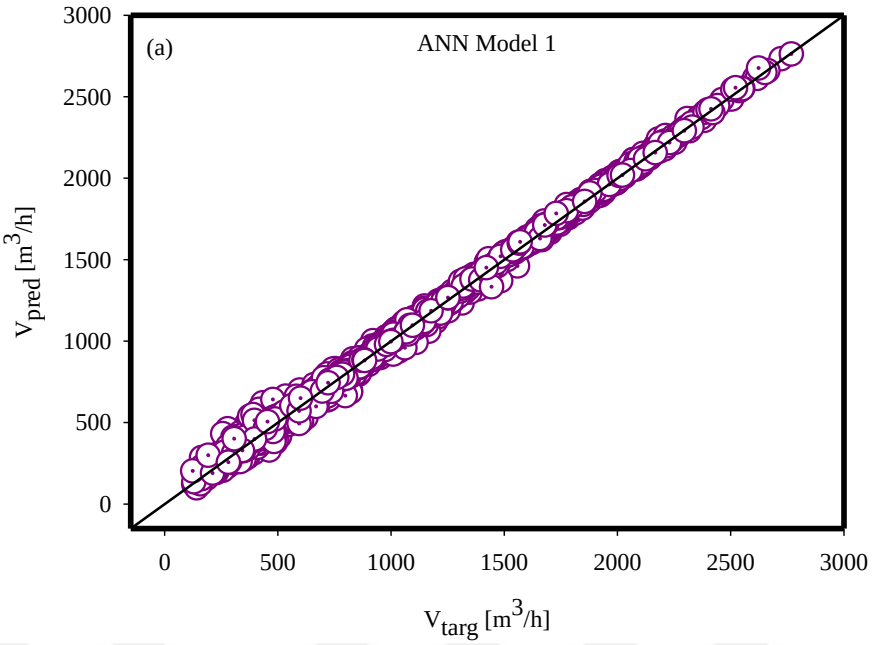
YSA Model 1'de fan coil'in önemli parametrelerinden biri olan hava hacimsel debisi tahmin edilmiştir. Fan coil hava debisi hava tarafı basınç kaybı ve fan coil fanının çalışma frekansına bağlıdır. Hava tarafı basınç kaybı ne kadar fazla olursa fana etki eden toplam statik basınç artacağı için fan coil'in beslediği havanın debisi azalacaktır. Aynı şekilde fan coil dış statik basınç kaybı toplam statik basınç kaybını arttıracağı için hava debisine olumsuz etki eder. Hava tarafı statik basınç kayıplarına etki eden önemli bir parametrede fan coil bataryasının basınç kaybıdır. Bataryanın basınç kaybı batarya boyutları ve bataryanın önemli notasyon parametrelerine bağlıdır. Hava debisine etki eden tüm bu parametreler göz önünde bulundurularak YSA Model 1 için girdi parametreleri Tablo 5.1'te verilmiştir.

Yapılan sayısal modellemenin sonuçlarının daha anlaşılabilir olarak değerlendirilebilmesi için deney sonuçları ile YSA modeli sonuçları grafikler halinde görselleştirilmiştir. Hava debisini tahmin etmek için geliştirilen modelin doğruluğunu incelemek için deneyler sonucu elde edilen hedef veriler ile tahmin edilen değerler Şekil 5.6'da aynı grafik üzerinde verilmiştir.



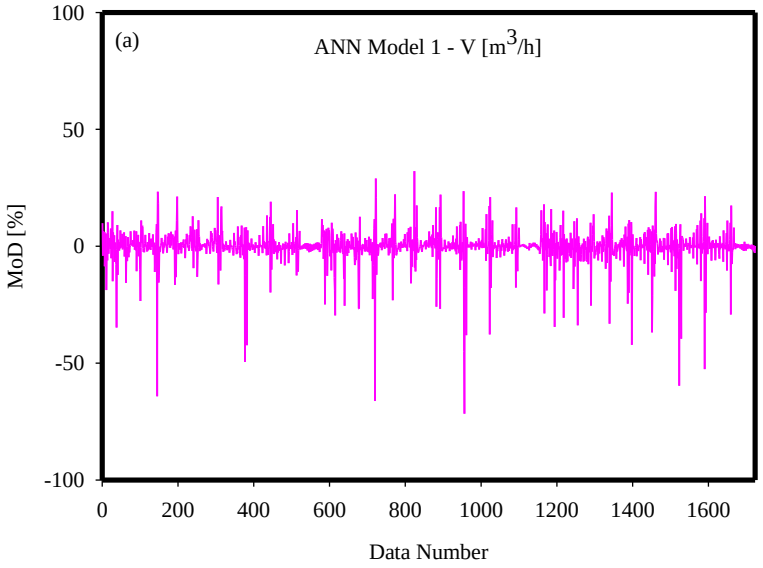
Şekil 5.6 Hedeflenen hava debisi sonuçları ile YSA model 1 tahmin sonuçlarının aynı şekil üzerinde gösterilmesi

Şekil 5.6'daki grafikte amaçlanan deneysel hava debisi verilerini ifade eden daireler ve YSA modeli sonuçlarını ifade eden mavi artıların konumları değerlendirilecek olursa yaklaşık olarak örtüştükleri görülmektedir. Şekil 5.7'de verilen grafikte YSA modeli sonuçlarının doğruluğunu ve güvenirliğini daha detaylı inceleyebilmek için x ekseninde amaçlanan deney sonuçları ve y ekseninde YSA modeli ile tahmin edilen sonuçlar verilmiştir. Bu grafikte ortadan geçen çapraz doğru deney sonuçları ile tahmin sonuçlarının birebir eşleştiği sıfır hata doğrusu olarak tanımlanabilir. Şekil 5.7'deki grafikten verilerin bahsedilen sıfır hata eğrisi üzerinde ve etrafında olduğu görülmektedir.



Şekil 5.7 Hava debisi deney sonuçları ile YSA model 1 sonuçlarının sıfır hata çizgisi üzerinde gösterimi

YSA Model 1 sonuçları son olarak veri noktalarına karşı deneysel verilerle YSA modeli sonuçları arasındaki sampa oranlarını(MoD) değerlendirebilmek için Şekil 5.8'deki gibi grafik halinde sunulmuştur. Bunun için her bir veri noktasında deneysel çalışmalar sonucu elde edilen veriler ile YSA modeli sonuçları arasındaki farklar elde edilmiştir.



Şekil 5.8 Hava debisi veri noktalarına göre YSA model 1'in sapma oranları

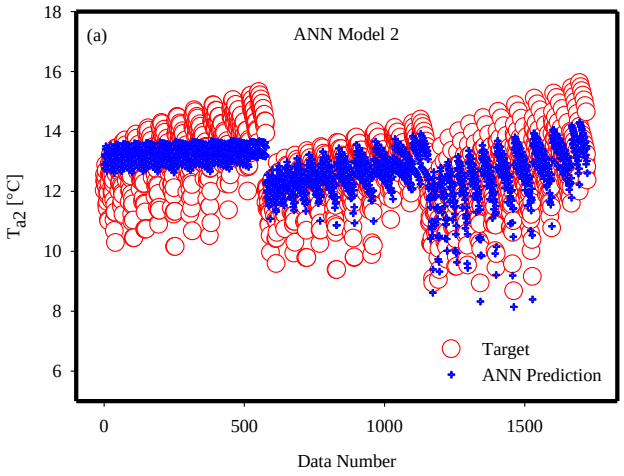
Şekil 5.8'de sapma oranları değerlendirildiğinde deney veri noktalarının büyük bir çoğunluğu için sapma oranlarının düşük olduğu görülmektedir.

Fan coil ünitelerinin hava debilerini tahmin etmek amacıyla geliştirilen YSA Model 1'de ortalama sapma oranı %-0,255 olarak elde edilmiştir. Geliştirilen YSA modelinin değerlendirilebilmesi için performans parametresi olarak belirlenen kararlılık katsayısı(R değeri) ve ortalama karesel hata(MSE) değeri sırasıyla 0,96848 ve 2,24E-02 olarak hesaplanmıştır. Yapılan sayısal modelleme sonucu elde edilen bu veriler ve grafik halinde gösterilen şekiller geliştirilen YSA modelinin hava debisini kabul edilebilir güvenirlikle ve doğrulukla tahmin edebildiğini göstermektedir.

5.3.2 YSA Model 2 Sonuçları

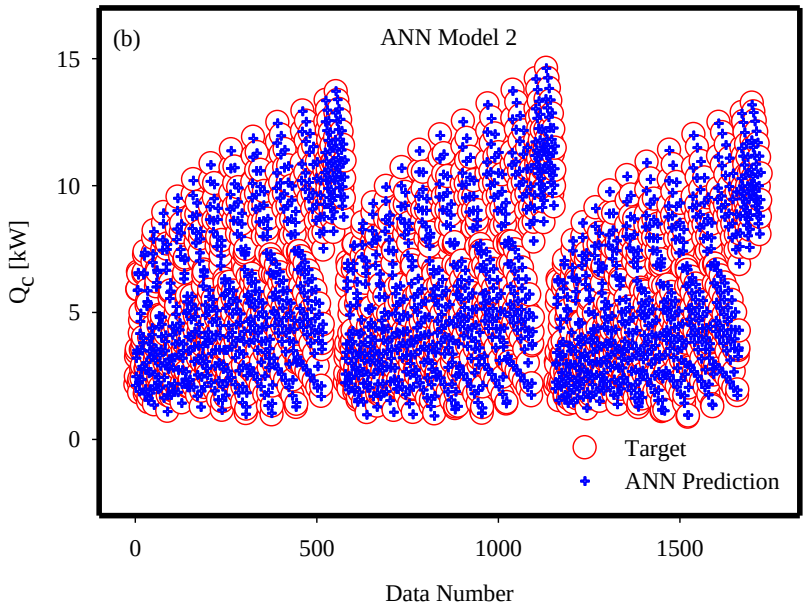
YSA Model 2'de fan coil'in önemli termal performans parametreleri olan hava çıkış sıcaklığı ve toplam soğutma kapasitesi tahmin edilmiştir. Hava çıkış sıcaklığı ve soğutma kapasitesi hava debisisine ve fan coil bataryasının özelliklerine bağlıdır. Çıkış sıcaklığına ve toplam soğutma kapasitesine etki eden parametreler değerlendirilmiş ve YSA Model 2 için girdi parametreleri Tablo 5.2'de verilmiştir.

YSA Model 2 için çıktı olarak belirlenen hava çıkış sıcaklığını ve fan coil'in toplam soğutma kapasitesini tahmin etmek için geliştirilen modelin doğruluğunu incelemek için deneyler sonucuyla elde edilen hedef veriler ile tahmin edilen değerler Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'da aynı grafik üzerinde verilmiştir.



Şekil 5.9 Hedeflenen hava çıkış sıcaklığı sonuçları ile YSA model 2 tahmin sonuçlarının aynı grafik üzerinde gösterilmesi

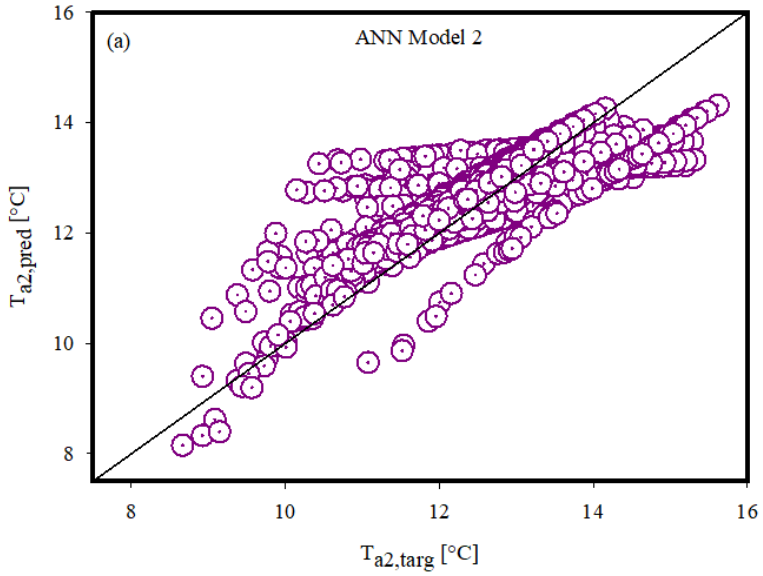
Şekil 5.9'da hava çıkış sıcaklığı için tahmin değerlerinin deney verileri ile sapmalar olduğu noktalar olsa bile veri noktalarının büyük bir bölümünün deney verilerini ifade eden daireler ile YSA modeli tahmin sonuçlarını ifade eden artılarla örtüştüğü görülmektedir.



Şekil 5.10 Hedeflenen toplam soğutma kapasitesi sonuçları ile YSA model 2 tahmin sonuçlarının aynı şekil üzerinde gösterilmesi

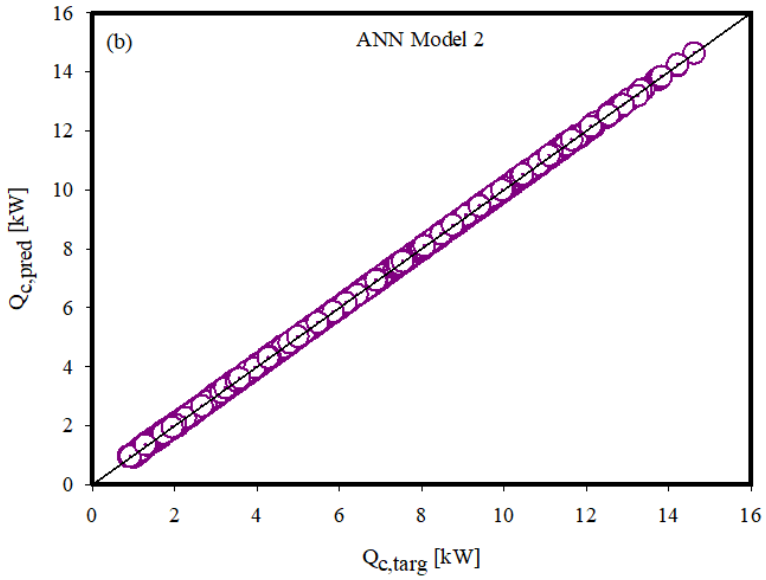
Şekil 5.10'da deney verilerini ifade eden daireler ile YSA modeli sonuçlarını ifade eden artıların büyük bir doğrulukla örtüştüğü görülmektedir.

YSA modeli sonuçlarını daha anlaşılabilir ve detaylı inceleyebilmek için x eksende amaçlanan deney sonuçları ve y eksende YSA modeli ile tahmin edilen sonuçlar Şekil 5.11 ve Şekil 5.12'de verilmiştir.



Şekil 5.11 Hava çıkış sıcaklığı deney sonuçları ile YSA model 2 sonuçlarının sıfır hata çizgisi üzerinde gösterimi

Şekil 5.11'de hava çıkış sıcaklığı için verilerin büyük bir bölümünün sıfır hata eğrisi üzerinde ve etrafında olduğu görülmektedir.

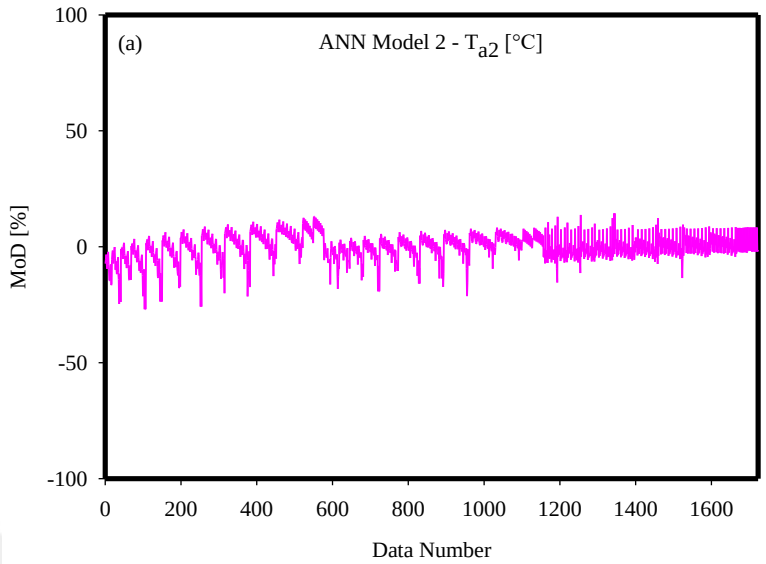


Şekil 5.12 Toplam soğutma kapasitesi deney sonuçları ile YSA model 2 sonuçlarının sıfır hata çizgisi üzerinde gösterimi

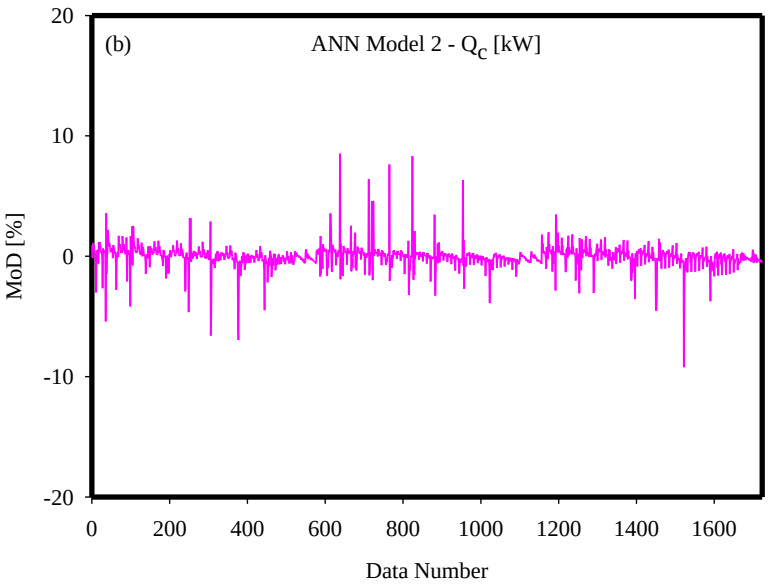
Şekil 5.12'de toplam soğutma kapasitesi çıktı parametresi için verilerin neredeyse tamamının sıfır hata eğrisi üzerinde olduğu görülmektedir.

YSA Model 2 sonuçları ile deneysel verilerle elde edilen sonuçların farkları bulunarak geliştirilen modelin sapma oranları incelenmiştir.

Şekil 5.13 ve Şekil 5.14'te sırasıyla hava çıkış sıcaklığı ve toplam soğutma kapasitesi için YSA Model 2'nin sapma oranları verilmiştir.



Şekil 5.13 Hava çıkış sıcaklığı veri noktalarına göre YSA model 2'nin sapma oranları



Şekil 5.14 Toplam soğutma kapasitesi veri noktalarına göre YSA model 2'nin sapma oranları

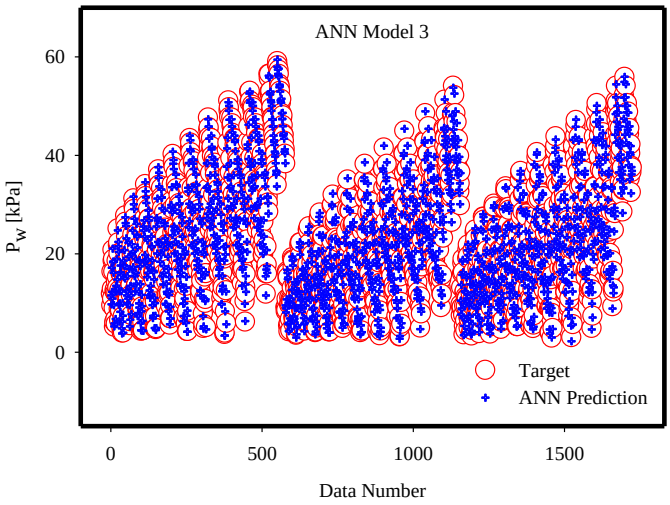
Şekil 5.13 ve Şekil 5.14 değerlendirildiğinde hava çıkış sıcaklığı ve toplam soğutma kapasitelerinin sapma oranları deney veri noktalarının çoğunluğunda düşüktür.

Tüm deney veri noktalarının YSA Model 2 tahmin sapma oranları değerlendirildiğinde ortalama sapma oranının hava çıkış sıcaklığı için %-0,195, toplam soğutma kapasitesi için %-0,012 olduğu belirlenmiştir. YSA modelinin tahmin yeteneğini ifade eden MSE ve R değeri sırasıyla 6,92E-02 ve 0,97312 olarak elde edilmiştir. Hesaplanan ortalama sapma değerleri, performans parametreleri ve elde edilen grafikler YSA modelinin hava çıkış sıcaklığını ve toplam soğutma kapasitesini kabul edilebilir güvenirlikle ve doğrulukla tahmin edebildiğini göstermektedir.

5.3.3 YSA Model 3 Sonuçları

YSA Model 3'te fan coil bataryasının su tarafı basınç düşümü tahmin edilmiştir. Bataryanın su basınç kaybı bataryanın geometrisine ve bataryadan geçen soğutma suyunun debisine bağlıdır. YSA Model 3'te su basınç kaybını tahmin etmek için girdi parametreleri Tablo 5.3'te verilmiştir.

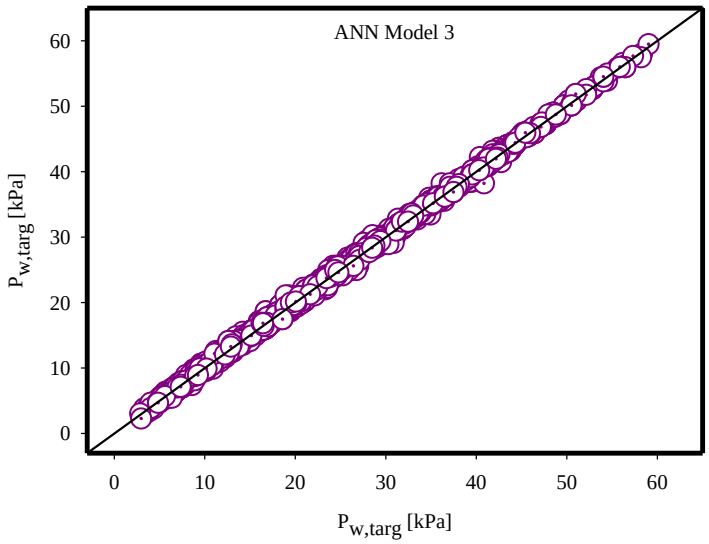
YSA modelinin sonuçlarını yorumlayabilmek için deney sonuçları ve YSA model tahmin sonuçları Şekil 5.15'te aynı grafik üzerinde verilmiştir.



Şekil 5.15 Hedeflenen batarya su basınç kaybı sonuçları ile YSA model 3 tahmin sonuçlarının aynı şekil üzerinde gösterilmesi

Şekil 5.15'te açık bir şekilde görülmektedir ki deney sonuçlarını ifade eden daireler ile tahmin sonuçlarını ifade eden artılar yüksek bir doğrulukla örtüşmektedir.

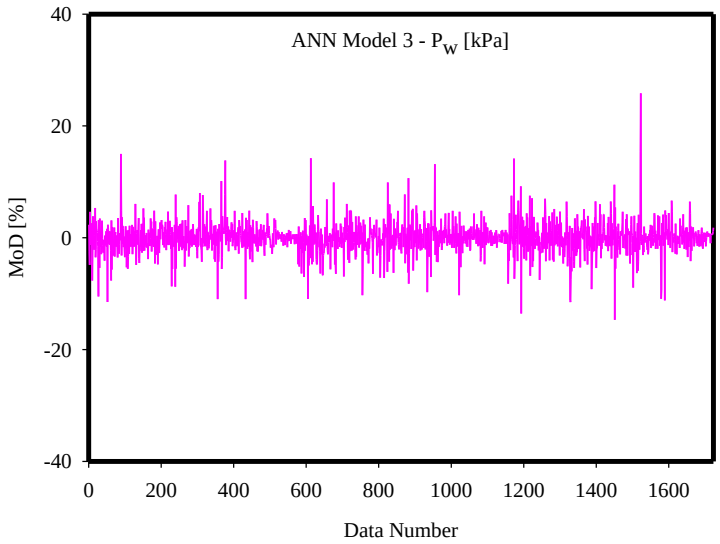
Sıfır hata eğrisi üzerinde sonuçları karşılaştırabilmek için Şekil 5.16'da x ekseninde hedeflenen deney sonuçları y ekseninde ise YSA modelinin tahmin sonuçları verilmiştir.



Şekil 5.16 Batarya su basınç kaybı deney sonuçları ile YSA model 3 sonuçlarının sıfır hata çizgisi üzerinde gösterimi

Şekil 5.16'da veri noktalarının yüksek bir doğruluk ve düşük hata oranlarıyla sıfır hata çizgisi üzerinde olduğu görülmektedir.

YSA Model 3'ün veri noktalarına göre sapma oranlarını değerlendirebilmek için Şekil 5.17 verilmiştir. Şekil 5.17'de veri noktalarının çoğunluğu için sapma oranlarının sıfıra yakın olduğu görülmektedir.



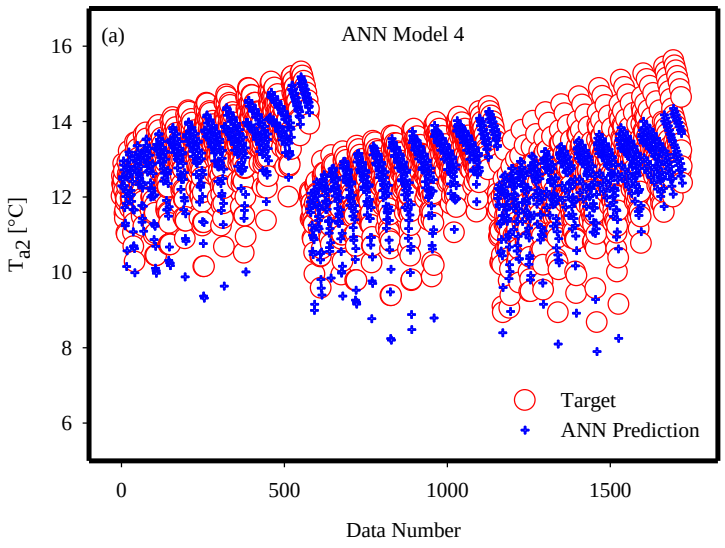
Şekil 5.17 Batarya su basınç kaybı veri noktalarına göre YSA model 3'ün sapma oranları

Yapılan modelleme sonucunda YSA Model 3 için su basınç kaybını tahmin ederken ortalama sapma oranının %-0,014 olduğu belirlenmiştir. YSA Model 3 için de diğer MSE ve R değerleri hesaplanmış ve sırasıyla 2,63E-03 ve 0,98462 olarak elde edilmiştir. Bu ortalama sapma oranı ve YSA modelinin hesaplanan performans parametreleri batarya su tarafı basınç kaybını tahmin etmek için YSA modelinin kullanılabilir olduğunu göstermektedir.

5.3.4 YSA Model 4 Sonuçları

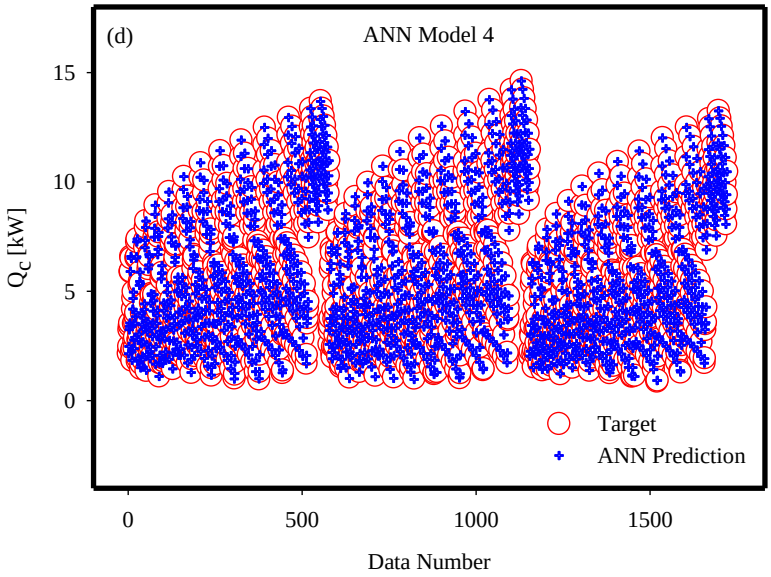
YSA Model 4'te ilk üç YSA modelinde bulunan tüm girdiler ve çıktı parametreleri tek bir modelde toplanmıştır. Ayrıca YSA Model 4'te fan coil'in harcadığı elektrik enerjisi tahmin edilmiştir. YSA Model 4 için girdi ve çıktı parametreleri Tablo 5.4'te verilmiştir.

YSA Model 4'ün sırasıyla hava çıkış sıcaklığı, toplam soğutma kapasitesi ve elektrik tüketimi çıktı parametrelerinin tahmin yeteneğinin değerlendirilebilmesi için Şekil 5.18, Şekil 5.19 ve Şekil 5.20'de deney sonuçları ile tahmin sonuçları aynı grafik üzerinde verilmiştir.

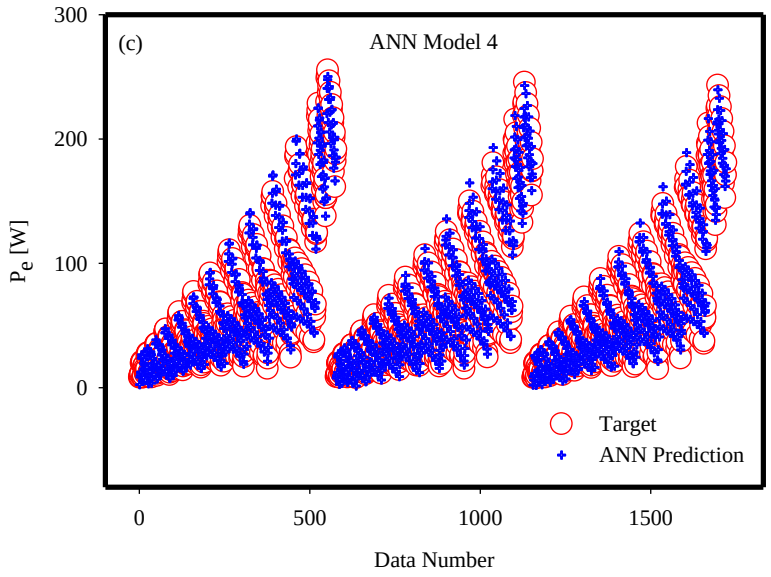


Şekil 5.18 Hedeflenen hava çıkış sıcaklığı sonuçları ile YSA model 4 tahmin sonuçlarının aynı şekil üzerinde gösterilmesi

Şekil 5.18'te hava çıkış sıcaklığı tahmin değerlerinin YSA Model 2'ye göre YSA Model 4'te, deney verilerini ifade eden daireler ile YSA modeli tahmin sonuçlarını ifade eden artılarla daha yüksek oranda örtüştüğü görülmektedir.



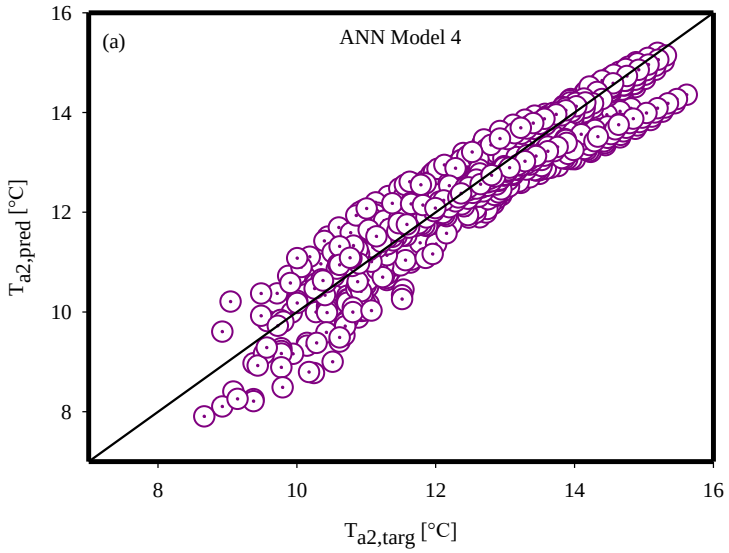
Şekil 5.19 Hedeflenen toplam soğutma kapasitesi sonuçları ile YSA model 4 tahmin sonuçlarının aynı şekil üzerinde gösterilmesi



Şekil 5.20 Hedeflenen fan elektrik tüketimi sonuçları ile YSA Model 4 tahmin sonuçlarının aynı şekil üzerinde gösterilmesi

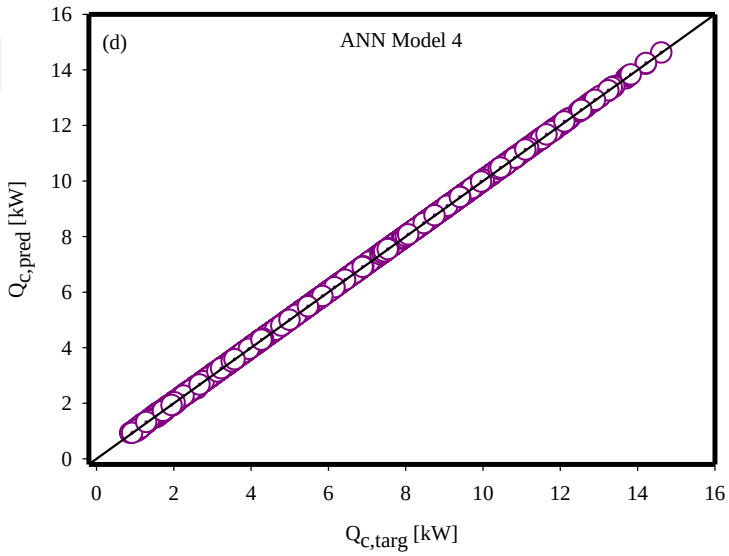
Toplam soğutma kapasitesi ve elektrik tüketimleri için sırasıyla Şekil 5.19 ve Şekil 5.20'de deney sonuçlarını ifade eden daireler ile tahmin sonuçlarını ifade eden artıların yüksek bir doğrulukla örtüştüğü görülmektedir.

Deney sonuçları ile tahmin sonuçlarının sıfır hata çizgisi üzerindeki konumları hava çıkış sıcaklığı, toplam soğutma kapasitesi ve elektrik tüketimi için sırasıyla Şekil 5.21, Şekil 5.22 ve Şekil 5.23'te verilmektedir.

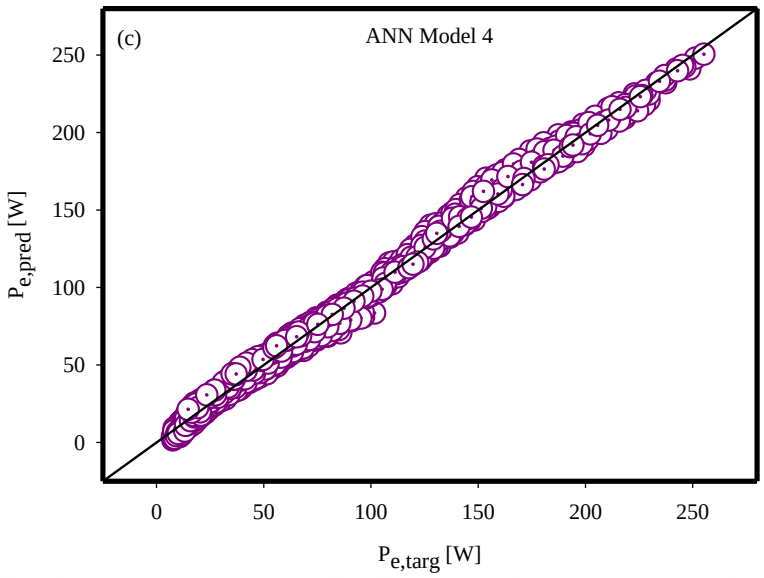


Şekil 5.21 Hava çıkış sıcaklığı deney sonuçları ile YSA model 4 sonuçlarının sıfır hata çizgisi üzerinde gösterimi

Şekil 5.21'te hava çıkış sıcaklığı için veri noktalarının büyük bir bölümünün sıfır hata çizgisi üzerinde ve etrafında olduğu görülmektedir.



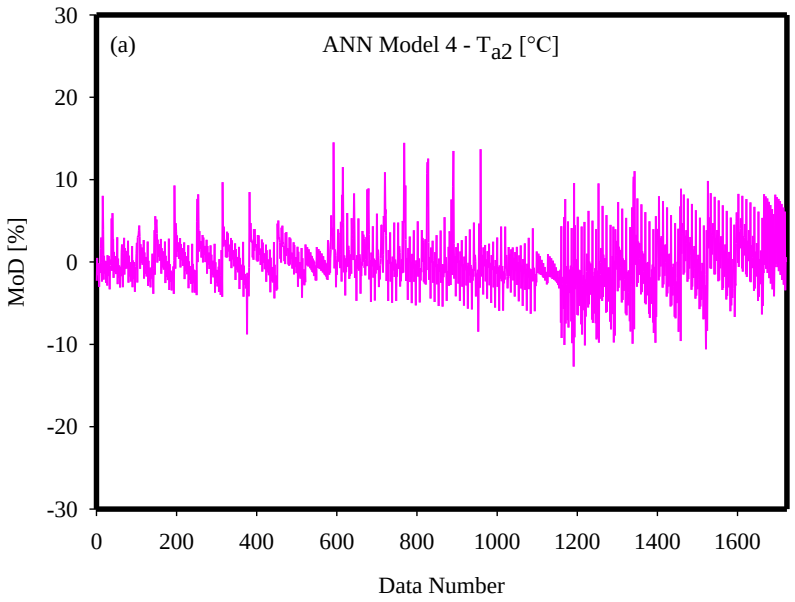
Şekil 5.22 Toplam soğutma kapasitesi deney sonuçları ile YSA model 4 sonuçlarının sıfır hata çizgisi üzerinde gösterimi



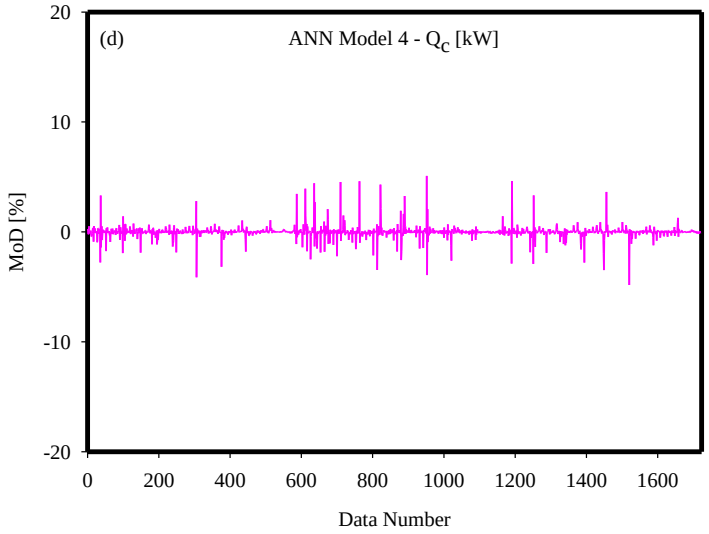
Şekil 5.23 Fan elektrik tüketimi deney sonuçları ile YSA model 4 sonuçlarının sıfır hata çizgisi üzerinde gösterimi

Şekil 5.22 ve Şekil 5.23'te sırasıyla toplam soğutma kapasitesi ve elektrik tüketimi için tahmin değerlerinin doğruluğu açık bir şekilde görülmektedir.

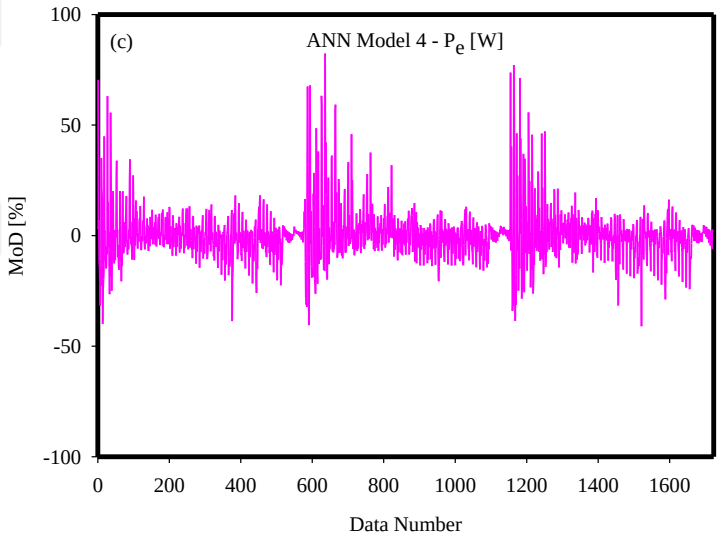
Sayısal modelin ortalama sapma oranlarını da değerlendirebilmek amacıyla Şekil 5.24, Şekil 5.25 ve Şekil 5.26'te sırasıyla hava çıkış sıcaklığı, toplam soğutma kapasitesi ve elektrik tüketimi için veri noktalarına göre sapma oranları verilmiştir.



Şekil 5.24 Hava çıkış sıcaklığı veri noktalarına göre YSA model 4'ün sapma oranları



Şekil 5.25 Toplam soğutma kapasitesi veri noktalarına göre YSA model 4'ün sapma oranları



Şekil 5.26 Fan elektrik tüketimi veri noktalarına göre YSA model 4'ün sapma oranları

Deney verileri ile tahmin verileri arasındaki farklar bulunarak ortalama sapma oranları belirlenmiştir. Ortalama sapma oranları hava çıkış sıcaklığı, toplam soğutma kapasitesi ve fan gücü için sırasıyla %+0,045, %-0,014 ve %+0,283 elde edilmiştir. Ek olarak YSA Model 4 için performans parametreleri olan MSE ve R değerleri sırasıyla 5,49E-02 ve 0,97048 olarak hesaplanmıştır. Ortalama sapma değeri, hesaplanan performans parametreleri ve sunulan grafikler YSA modelinin güvenilir bir doğrulukla çıktı olarak belirlenen parametrelerini tahmin edebildiğini göstermektedir.

6
SONUÇ

Gizli tavan tipi EC motorlu fan coil ünitelerinin hava hacimsel debileri, ısıl kapasiteleri(soğutma kapasiteleri), güç tüketimleri gibi önemli performans parametreleri belirli koşullar altında deneysel çalışmalarla elde edilmiştir. Deneysel çalışmalar sonucu elde edilen fan coil ünitelerinin önemli performans parametrelerini tahmin etmek için dört farklı YSA modeli önerilmiştir. Önerilen YSA modellerinde yüksek tahmin yeteneğine sahip ve sıklıkla tercih edilen ileri beslemeli geri yayılımlı MLP ağ modeli tercih edilmiştir. MLP ağ modelinde güçlü yapısı ve yüksek öğrenme yeteneğine sahip Levenberg-Marquardt eğitim algoritması kullanılmıştır. MLP ağ modelinin giriş katmanında Tan-Sig, çıkış katmanında Purelin transfer fonksiyonları kullanılmıştır.

Geliştirilen YSA modellerinin performansını, hedeflenen verileri tahmin edebilme yeteneğini değerlendirebilmek için sıklıkla tercih edilen kararlılık katsayısı R değeri ve ortalama kareler hatası MSE değeri dört farklı YSA modeli için hesaplanarak belirlenmiştir. Aynı zamanda hedeflenen verilerle tahmin edilen veriler arasındaki farklar bulunarak YSA modellerinin ortalama sapma oranlarını belirlenmiştir.

Geliştirilen YSA Model 1'de fan coilin hava hacimsel debisini tahmin edebilmek için ısı değiştirici boru sayısı, sıra sayısı, lamel uzunluğu, devre sayısı, EC motor voltajı ve dış statik basınç girdi parametreleri olarak belirlenmiştir. YSA Model 1 sonuçları incelendiğinde ortalama sapma oranı %-0,255 olarak belirlenmiştir. YSA Model 1 için R ve MSE değerleri sırasıyla 0,96848 ve 2,24E-02 olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan ortalama sapma oranı, R ve MSE değerleri YSA modelinin hava debisini kabul edilebilir güvenirlikle ve doğrulukla tahmin edebildiğini göstermektedir.

Geliştirilen YSA Model 2'de fan coilin hava çıkış sıcaklığını ve toplam soğutma kapasitesini tahmin edebilmek için hava hacimsel debisi, ısı değiştirici boru sayısı, sıra sayısı, lamel uzunluğu ve devre sayısı girdi parametreleri olarak belirlenmiştir. YSA Model 2 sonuçları incelendiğinde ortalama sapma oranı hava çıkış sıcaklığı için %-0,195, toplam soğutma kapasitesi için %-0,012 olarak belirlenmiştir. YSA

Model 2 için R ve MSE değerleri sırasıyla 0,97312 ve 6,92E-02 olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan ortalama sapma oranı, R ve MSE değerleri YSA modelinin hava çıkış sıcaklığını ve toplam soğutma kapasitesini kabul edilebilir güvenirlikle ve doğrulukla tahmin edebildiğini göstermektedir.

Geliştirilen YSA Model 3'te fan coil ısı değiştiricisinin su basınç kaybını tahmin edebilmek için ısı değiştirici boru sayısı, sıra sayısı, su debisi, lamel uzunluğu ve devre sayısı girdi parametreleri olarak belirlenmiştir. YSA Model 3 sonuçları incelendiğinde ortalama sapma oranı %-0,014 olarak belirlenmiştir. YSA Model 3 için R ve MSE değerleri sırasıyla 0,98462 ve 2,63E-03 olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan ortalama sapma oranı, R ve MSE değerleri YSA modelinin hava debisini kabul edilebilir güvenirlikle ve doğrulukla tahmin edebildiğini göstermektedir.

Geliştirilen YSA Model 4'te fan coilin hava çıkış sıcaklığı, fan gücü ve soğutma kapasitesini tahmin edebilmek için ısı değiştirici boru sayısı, sıra sayısı, lamel uzunluğu, devre sayısı, EC motor voltajı, dış statik basınç, hava hacimsel debisi ve su debisi girdi parametreleri olarak belirlenmiştir. YSA Model 4 sonuçları incelendiğinde ortalama sapma oranı hava çıkış sıcaklığı, toplam soğutma kapasitesi ve fan gücü için sırasıyla %+0,045, %-0,014 ve %+0,283 olarak belirlenmiştir. YSA Model 4 için R ve MSE değerleri sırasıyla 0,97048 ve 5,49E-02 olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan ortalama sapma oranı, R ve MSE değerleri YSA modelinin hava debisini kabul edilebilir güvenirlikle ve doğrulukla tahmin edebildiğini göstermektedir.

KAYNAKÇA

[1] J. A. Leech and M. S. Doiron, "Exposure time and place: Do COPD patients differ from the general population?", Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology, vol. 16, pp. 238-241, 2016.

[2] A. Cincinelli and T. Martellini, "Indoor air quality and health", International Journal of Environmental Resources and Public Health, vol. 14, pp.1286, 2017.

[3] Eurovent RS 6/C/002, (2013). Rating standard for the certification of non-ducted Fan-coil units, Eurovent Certita Certification, pp. 4-9, Paris.

[4] K. Edwards, M. D. Rosa and D. P. Finn, "Optimal control of fan coil battery air and water flow rates requiring minimal on-line measurements", Applied Thermal Engineering, vol. 198, pp. 117469, 2021.

[5] M. E. Dursun, (2019). VRF ve fan coil sistemlerinin bir eğitim binasında karşılaştırmalı incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yalova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yalova.

[6] H. C. Chuang, J. H. Chi, K. Y. Chang and C. T. Lee, "Study on a fan coil unit and chiller by an intelligent control method with a stepless variable speed driving technology", Building and Environment, vol. 132, pp. 137-146, 2018.

[7] C. Yücel, (2018). Kanalsız gizli tavan tipi fancoil ısı değiştiricisinde hava dağılımının optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

[8] A. Firouzfar, (2014). Bir fan-coil ünitesinin performansının deneysel ve sayısal olarak analizi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

[9] L. Yang, Y. Xia, X. Chen, Y. Chen and W. Li, "Leveraging artificial neural networks for air humidity measurement in air conditioning systems", Building and Environment, vol. 255, pp. 111410, 2024.

[10] H. J. Kim and Y. H. Cho, "Optimization of supply air flow and temperature for VAV terminal unit by artificial neural network", Case Studies in Thermal Engineering, vol. 40, pp. 102511, 2022.

[11] A. B. Çolak, Ö. Açıkgöz, H. Mercan, A. S. Dalkılıç and S. Wongwises, "Prediction of heat transfer coefficient, pressure drop, and overall cost of double-pipe heat exchangers using the artificial neural network", Case Studies in Thermal Engineering, vol. 39, pp. 102391, 2022.

[12] M. H. Chung, Y. K. Yang, K. H. Lee, J. H. Lee and J. W. Moon, "Application of artificial neural networks for determining energyefficient operating set-points of the VRF cooling system", Building and Environment, vol. 125, pp. 77-87, 2017.

[13] M. Mohanraj, S. Jayaraj and C. Muraleedharan, "Applications of artificial neural networks for thermal analysis of heat exchangers-A review", International Journal of Thermal Sciences, vol. 90, pp. 150-172, 2015.

[14] M. Mohanraj, S. Jayaraj and C. Muraleedharan, "Applications of artificial neural networks for refrigeration, air-conditioning and heat pump systems-A review", Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 16, pp. 1340-1358, 2012.

[15] G. Xie, B. Sunden, Q. Wang and L. Tang, "Performance predictions of laminar and turbulent heat transfer and fluid flow of heat exchangers having large tube-diameter and large tube-row by artificial neural networks", International Journal of Heat and Mass Transfer, vol. 52, pp. 2484-2497, 2009.

[16] K. S. Yiğit and H. M. Ertunç, "Prediction of the air temperature and humidity at the outlet of a cooling coil using neural networks", International Communications in Heat and Mass Transfer, vol. 33, pp. 898-907, 2006.

[17] S. A. Kalogirou, "Applications of artificial neural-networks for", Applied Energy, vol. 67, pp. 17-35, 2000.

[18] ANSI/AMCA 210-16 Standard, (2016). Laboratory Methods of Testing Fans for Certified Aerodynamic Performance Rating, Air Movement and Control Association International, pp. 4-50.

[19] ANSI/ASHRAE Standard 79-2002, (2006). Method of testing for rating Fan-coil conditioners. American Society of Heating, Refrigerating ans Air-Conditioning Engineers, pp. 2-14, Atlanta.

[20] EUROVENT ECP FCU Revision 00, (2021). Technical Certification Rules of the EUROVENT Certified Performance Mark, Fan Coil Units, p. 23, Paris.

[21] TS EN ISO 5801 Standard, (2010). Industrial fans - Performance testing using standardized airways, pp. 27-28.

[22] O. Genceli, (2000). Ölçme tekniği, Birsen Yayınevi, pp. 23-29, İstanbul.

[23] M. Zheng, B. Leib, W. Wright and P. Ayers, "Neural models to predict temperature and natural ventilation in a high tunnel", vol. 62, pp. 761–769, 2019.

[24] M. Afrand, K. N. Najafabadi, N. Sina, M. R. Safaei, A. S. Kherbeet, S. Wongwises and M. Dahari, "Prediction of dynamic viscosity of a hybrid nano-lubricant by an optimal artificial neural network", Int. Commun. Heat Mass Tran., vol. 76, pp. 209-214, 2016.

[25] A. Canakci, S. Ozsahin and T. Varol, "Modeling the influence of a process control agent on the properties of metal matrix composite powders using artificial neural networks", Powder Technol., vol. 228, pp. 26-35, 2012.

[26] T. Güzel and A. B. Çolak, "An experimental study on artificial intelligence-based prediction of capacitance-voltage parameters of polymer-interface 6H-SiC/MEHPPV/Al Schottky diodes", Phys. Status Solidi, vol. 219, pp. 2100821, 2022.

[27] A. Ali, A. Abdulrahman, S. Garg, K. Maqsood and G. Murshid, "Application of artificial neural networks (ANN) for vapor-liquid-solid equilibrium prediction for CH4-CO2 binary mixture", Greenh. Gases: Sci. Technol., vol. 9, pp. 67-78, 2019.

[28] A. A. Alrashed, A. Karimipour, S. A. Bagherzadeh, M. R. Safaei and M. Afrand, "Electro- and thermophysical properties of water-based nanofluids containing copper ferrite nanoparticles coated with silica: experimental data, modeling through enhanced ANN and curve fitting", Int. J. Heat Mass Tran, vol. 127, pp. 925–935, 2018.

[29] A. B. Colak, "An experimental study on the comparative analysis of the effect of the number of data on the error rates of artificial neural networks", Int. J. Energy Res., vol. 45, pp. 478–500, 2021.

[30] H. Mercan, F. Sonmez, A. B. Colak and A. S. Dalkılıc, "Determination of heat transfer rates of heavy-duty radiators for trucks having flattened and double-U grooved", The European Physical Journal Plus, vol. 137, pp. 1-26, 2022.

[31] T. Calisir, A. B. Colak, D. Aydin, A. S. Dalkilic and S. Baskaya, "Artificial neural network approach for investigating the impact of convector design parameters on the", Int. J. Therm. Sci., vol. 183, pp. 1-12, 2023.

[32] A. B. Colak, O. Yıldız, M. Bayrak and B. S. Tezekici, "Experimental study for predicting the specific heat of water based Cu-Al2O3 hybrid nanofluid using artificial neural network and proposing new correlation", Int. J. Energy Res., vol. 44, p. 7198–7215, 2020.

[33] A. B. Colak, Y. Karakoyun, O. Açıkgöz, Z. Yumurtacı and A. S. Dalkılıç, "A numerical study aimed at finding optimal artificial neural network model covering experimentally obtained heat transfer characteristics of hydronic underfloor radiant heating systems running various nanofluids", Heat Transf.Res., vol. 53, pp. 51–71, 2022.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

[1] B. Uğuz, Z. Gemici, D. Tonya, A. B. Çolak, A. S. Dalkılıç, "Soğutma Prosesi Sırasında Ec Fan Coil'in Deneysel Olarak Elde Edilen Isıl Performansının Ve Kapasitesinin Yapay Sinir Ağları İle Sayısal Tahmini," ASES VIII. Uluslararası Sağlık, Mühendislik ve Fen Bilimleri Kongresi, pp.43-44, 6-7 Nisan, 2024, İZMİR