

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**GSM BAZ İSTASYONLARINDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ AMAÇLI
ISIL MODELLEME VE DENEYSEL ANALİZ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Cem GÜRSES

Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı

Enerji Bilim ve Teknoloji Programı

OCAK 2012

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**GSM BAZ İSTASYONLARINDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ AMAÇLI
ISIL MODELLEME VE DENEYSEL ANALİZ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Cem GÜRSES
(301091041)**

Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı

Enerji Bilim ve Teknoloji Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Altuğ ŞİŞMAN

OCAK 2012

İTÜ, Enerji Enstitüsü'nün 301091041 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Cem GÜRSES**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**GSM Baz İstasyonlarında Enerji Verimliliği Amaçlı Isıl Modelleme ve Deneysel Analiz**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Altuğ ŞİŞMAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Olcay KINCAY**
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Fatih Öztürk
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **19 Aralık 2011**
Savunma Tarihi : **26 Ocak 2012**

Bana her zaman destek olan aileme,

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez projem için bana destek olan Turkcell A.Ş.'ye , akademi bursunu sağlayan Turkcell Akademi'ye, proje çalışmalarımı yürüttüğüm İTÜ Enerji Enstitüsü'ne ve projenin deneysel kısmında destek sağlayan SPI Kimya'ya çok teşekkür ediyorum. Projeyi yürütürken bana destek olan Turkcell çalışanlarına, danışmanım Prof.Dr. Altuğ Şişman'a, Yrd. Doç. Dr. Burak Barutçu'ya ve EDAG ofisi çalışma arkadaşlarım, Türker Şahin, Sevan Karabetoğlu, Kerem Turhan'a ve diğer enstitü çalışanlarına ayrıca teşekkürlerimi sunuyorum. Bu proje ve projenin devamındaki tez çalışmasının, GSM baz istasyonlarında enerji tüketimi ve işletme giderlerini azaltmaya yönelik farklı çözüm önerileri getireceğine, enerji verimli yeni tasarımlar geliştirileceğine inanıyorum.

Aralık 2011

Cem Gürses
Makine Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
KISALTMALAR	xiii
SEMBOL LİSTESİ	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 GSM Baz İstasyonlarında Enerji Verimliliğinin Önemi	1
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Literatür Özeti	2
1.4 Tezde Yapılanlar ve Elde Edilen Sonuçlar	4
2. TEMEL BİLGİLER	7
2.1 Turkcell'den Veri Toplama	7
2.1.1 Turkcell saha ziyareti	10
2.2 Boya ve Yalıtım Malzemeleri	15
2.2.1 Özel boyalar	15
2.2.2 Yalıtım malzemeleri.....	16
2.3 Güneş Spektrumu	16
2.3.1 Kızıl ötesi (infrared) ışık	17
2.4 Güneş Açıları ve Konumu.....	17
2.5 Yeryüzüne Gelen Güneş Işınımı	19
2.6 Doğal Taşınım	20
3. ISIL MODELLEME.....	23
3.1 Güneş Konum Açıları.....	23
3.1.1 Saat açısı (h):.....	23
3.1.1.1 Zaman denklemi (dakika olarak):	23
3.1.2 Deklinasyon açısı (δ):	24
3.1.3 Zenit açısı (z):	24
3.1.4 Yükseklik açısı (y):	24
$z + y = 90^\circ$	24
3.1.5 Güneş azimut açısı (a_g):.....	24
3.2 Konteyner Hesapları.....	25
3.2.1 Konteyner ölçüleri.....	25
3.2.2 Konteyner duvar malzeme ve yapısı	25
3.3 Meteorolojik Veriler ve Kullanımı.....	26
3.4 Yüze Gelen Işınım Hesabı.....	26
3.4.1 Yeryüzüne gelen ışınlm miktarı	26
3.4.2 Güneş geliş açısı.....	27

3.4.3 Konteyner yüzeyine gelen ısıtım	29
3.5 Isı Transferi Hesapları	29
3.5.1 Doğal taşınım hesabı	29
3.5.2 Konteyner dış yüzey sıcaklık hesabı	30
3.5.3 Güneş ve atmosferik dış hava sebebiyle konteynere gelen ısı yük hesabı	31
3.6 Klima Tüketim Hesapları	32
3.7 Hesaplanan Büyüklükler ve Grafikler	34
3.7.1 Hesaplanan büyüklükler	34
3.7.2 Teorik modellerde elde edilen grafikler	34
4. DENEYSEL UYGULAMA	37
4.1 Uygulama Adımları ve Deney Düzenegi	37
4.1.1 Pt100.....	37
4.1.2 Datalogger ve arayüz.....	38
4.1.3 Köhler sayacı	39
4.1.4 Zaman ayarlı priz ve ısıtıcılar.....	39
4.1.5 Klimalar.....	40
4.1.6 Konteyner yerleşimi	41
4.1.7 Pt100 yerleşimi.....	42
4.1.8 Isı kapasitörü olarak aküler	44
4.1.9 Konteynerlerin eş koşul kontrolü ve yüksüz klima testi	45
4.1.10 Supertherm boya Uygulaması	46
4.2 Deneysel Uygulamada Yapılan Testler	48
4.2.1 Deneysel uygulamada durum açıklamaları:	48
4.3 Ölçümler ve Rapor Özetleri.....	49
4.3.1 Aşırı sıcaklık maruziyeti - ASM (excess temperature exposure - ETE) ...	49
4.3.2 Tablo açıklamaları.....	50
4.4 Grafikler ve Değerlendirmeler	58
5. ISIL MODELLEME İLE DENEYSEL UYGULAMANIN SENTEZİ.....	63
5.1 Teorik Hesaplar ile Uygulamadaki Değerlerin Karşılaştırılması	63
5.1.1 Yüzey sıcaklıkları.....	63
5.1.2 Isı transferi hesapları	64
5.1.3 Klima tüketim değerleri	65
5.2 ASM ile Akü Ömrü İlişkisi	66
6. SONUÇLAR	69
6.1 Supertherm Boya Kullanımı.....	69
6.2 Yalıtım Kalınlığı.....	69
6.3 Enerji Tüketiminin ve İşletme Giderlerinin Azaltılması için Olası Yaklaşımlar ve Çözüm Önerileri	69
KAYNAKLAR.....	71
ÖZGEÇMİŞ.....	73

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Konteyner bilgileri	7
Çizelge 2.2 : Klima bilgileri.	8
Çizelge 2.3 : Malzemeler ve ısı iletkenlik değeri.	16
Çizelge 3.1 : Değişken COP hesabındaki katsayı tablosu($T_i=24\text{ }^{\circ}\text{C}$ için).	33
Çizelge 3.2 : Dış hava sıcaklığına bağlı COP değeri($\dot{Q}_T=1,6\text{ kW}$, $T_i=24\text{ }^{\circ}\text{C}$ için).	33
Çizelge 4.1 : Yüksüz klima testi	45
Çizelge 4.2 : Test durumları	48
Çizelge 4.3 : Durum-1 klima kapalı – ısıtıcı kapalı deneyi	51
Çizelge 4.4 : Durum-1 yüzey sıcaklıkları ve iç hava sıcaklığı tablo özeti	55
Çizelge 4.5 : Durum -1 ısı transferi ve ASM tablo özeti	55
Çizelge 4.6 : Durum -2 klima kapalı – ısıtıcı açık deneyi	55
Çizelge 4.7 : Durum -2 ısı transferi ve ASM tablo özeti	56
Çizelge 4.8 : Durum -3 klima açık – ısıtıcı açık deneyi	56
Çizelge 4.9 : Durum -3 yüzey sıcaklıkları ve iç hava sıcaklığı tablo özeti	57
Çizelge 4.10 : Durum -3 ısı transferi ve ASM tablo özeti	57
Çizelge 4.11 : Durum -4 klima kesintisi – ısıtıcı açık deneyi.....	57
Çizelge 4.12 : Durum -4 ısı transferi ve ASM tablo özeti	58

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Farklı açılardan konteyner fotoğrafları.....	10
Şekil 2.2 : Konteyner iç görüntüleri.	11
Şekil 2.3 : Konteyner kapısının kasasında içeriden dışarıya ısı geçişi (sıcaklık farkı) görülmektedir.	11
Şekil 2.4 : Dışarıdan duvar ve tavan görüntüsü.	12
Şekil 2.5 : İçeriden duvar görüntüsü.	12
Şekil 2.6 : Rectifier ünitesindeki fan arızası.	13
Şekil 2.7 : GSM kabininde ısı yayan RF ünitesi de gözlenmektedir.	13
Şekil 2.8 : Konteyner içerisinde yerleşim planı.	14
Şekil 2.9 : Dalga boyuna bağlı reflektivite test sonucu.	15
Şekil 2.10 : Elektromanyetik spektrum (URL-1, 28.07.2011).	17
Şekil 2.11 : Yıl boyunca zaman denklemi.	18
Şekil 2.12 : Yıl boyunca deklinasyon açısı.....	18
Şekil 2.13 : Güneş açıları(Kıncay O., 2011).....	19
Şekil 2.14 : Güneş sabiti.	20
Şekil 2.15 : Dikey plaka üzerinde doğal taşınım sırasında oluşan farklı sınır tabakalar(İncropera, 2000).	21
Şekil 3.1 : Sandviç duvarda ısı iletimi şematik gösterimi.	26
Şekil 3.2 : Yüzey azimut açısı(Kıncay O., 2011).	28
Şekil 3.3 : Dış hava sıcaklığına bağlı COP değişimi.	33
Şekil 3.4 : Dış yüzey sıcaklıkları.	35
Şekil 3.5 : İç yüzey ve iç hava sıcaklıkları.	35
Şekil 3.6 : Saatlik ortalama ısı güç girdileri.	36
Şekil 3.7 : Saatlik ortalama klima güç sarfıyatı.	36
Şekil 4.1 : Dış yüzeye sabitlenmiş Pt100.	37
Şekil 4.2 : Datalogger.	38
Şekil 4.3 : Genel görünüm.	38
Şekil 4.4 : EVIEW programı sıcaklık bar grafik sayfası.	39
Şekil 4.5 : Köhler sayac.	39
Şekil 4.6 : 2 kW'lık ısıtıcılar(biri eksenel hareketli).	40
Şekil 4.7 : Zaman ayarlı priz.....	40
Şekil 4.8 : Klima.	40
Şekil 4.9 : Konteynerlerin enstitü bahçesinden fotoğrafı.	41
Şekil 4.10 : Konteynerlerin yerleşim planı.	41
Şekil 4.11 : Pt100 yerleşim planı.	42
Şekil 4.12 : Ön ve sağ dış yüzey.....	43
Şekil 4.13 : Sol dış yüzey ve arka dış yüzey – dış hava.	43
Şekil 4.14 : Üst dış yüzey ve ön iç yüzey.	43
Şekil 4.15 : Sağ ve sol iç yüzey.	43
Şekil 4.16 : Arka ve üst iç yüzey.	44
Şekil 4.17 : İç hava ve klima giriş-çıkış.	44

Şekil 4.18 : Akü rafı (3x4, 12 adet 6 V 155 Ah boş akü).	44
Şekil 4.19 : Termal kamera ile ısı kaçak testi.	45
Şekil 4.20 : Köpük uygulama.	45
Şekil 4.21 : Paslı üst yüzey ve rustgrip uygulaması.	46
Şekil 4.22 : Supertherm uygulaması.	46
Şekil 4.23 : Sol ve ön yüzey.	47
Şekil 4.24 : Sağ ve arka yüzey.	47
Şekil 4.25 : Relatif sıcaklık – zaman grafiği.	50
Şekil 4.26 : Dış yüzey sıcaklıkları.	58
Şekil 4.27 : İç yüzey sıcaklıkları.	59
Şekil 4.28 : İç hava sıcaklığı.	59
Şekil 4.29 : Isıl girdiler.	60
Şekil 4.30 : Klima ortalama güç tüketimi.	60
Şekil 4.31 : COP(değişken).	61
Şekil 5.1 : Dış yüzey sıcaklıkları için modelin yüzde hatası.	63
Şekil 5.2 : Ortalama hata yüzdeleri.	63
Şekil 5.3 : Isı transferi karşılaştırması.	64
Şekil 5.4 : Gündüz hata yüzdeleri.	64
Şekil 5.5 : Klima 10 dk'lık ortalama güç tüketimi.	65
Şekil 5.6 : Klima tüketimi hata yüzdeleri.	65
Şekil 5.7 : Sıcaklık-akü ömrü ilişkisi.	66

KISALTMALAR

ASM	: Aşırı Sıcaklık Maruziyeti
COP	: Coefficient of Performance
ETE	: Excess Temperature Exposure
GS	: Güneş Saati
IR	: Infrared Radiation
İTÜ	: İstanbul Teknik Üniversitesi
RF	: Radio Frequency
SP	: Supertherm Uygulanmış Konteyner
ST	: Standart Boyalı Konteyner
YS	: Yerel Saat
ZD	: Zaman Denklemi

SEMBOL LİSTESİ

R	: Yansıtma oranı
λ	: Isıl iletkenlik
B_y	: Bulunulan yerin boylamı
e	: Enlem açısı
h	: Saat açısı
J	: Gün sayısı
δ	: Deklinasyon açısı
z	: Zenit açısı
y	: Yükseklik açısı
a_g	: Güneş azimut açısı
U_D	: Duvarın ısı geçiş katsayısı
h	: Doğal taşınım katsayısı
$\dot{Q}$	: Birim zamanda ısı yük
A	: Isı transferi yüzey alanı
T	: Sıcaklık
E_s	: Yeryüzüne gelen direkt ışınım
E_o	: Yılın gününe bağlı güneş sabiti
E_G	: Güneş sabiti
f	: Güneş sabitini günlere göre düzeltme faktörü
T_L	: Türbidite faktörü
$\delta_R m$	: Atmosferin optik kalınlık ortalaması ve optik hava kütlesi
p/p_0	: Hava basıncı düzeltmesi
H	: Hesap yapılan yerin denizden yüksekliği
θ	: Güneş geliş açısı, güneş ışınlarının eğik düzlemin normali ile yaptığı açıdır.
s	: Eğim açısı
a_y	: Yüzey azimut açısı
J_s	: Konteyner yüzeyine güneşten gelen ısı akısı
k	: Havanın ısı iletim katsayısı
g	: Yerçekimi ivmesi
B	: Genleşme Katsayısı
a	: Isı yayılma katsayısı
ν	: Kinematik viskozite

α	: Yüzey absorpsiyon katsayısı
U	: Toplam ısı geçiş katsayısı
$\dot{W}_E$	: Klimanın elektrik yükü
n	: Verilen sıcaklıkta 1 gün içerisindeki çalışma süresi

GSM BAZ İSTASYONLARINDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ AMAÇLI ISIL MODELLEME VE DENEYSEL ANALİZ

ÖZET

Bu tez çalışmasında GSM baz istasyonlarında enerji verimliliğini arttırmak amacıyla istasyonun ısıl modellemesinin yapılması, deneysel olarak modelin doğrulanması ve deneysel olarak doğrulanmış model yardımıyla enerji verimliliğinde farklı çözüm önerilerinin sınanması gerçekleştirilmiştir. Turkcell ile yapılan görüşme ve saha ziyareti sonucu teknik bilgiler elde edilmiştir. Özel boya ve yalıtım malzemeleri araştırılmış ve güneş spektrumu, ışıınımı ve ısı transferi ile ilgili temel bilgiler edinilmiştir. Baz istasyonunun yer koordinatları, tarih ve saat bilgilerinden hareketle güneş konum açılarından yararlanılarak güneş ışınlarının istasyonun farklı yüzeyleriyle yaptığı açılar ve konteyner yüzeyine gelen güneş ışıınımı hesaplanmıştır. Konteyner duvar malzeme ve yapısı, konteyner geometrik ölçüleri, yüzey yutma katsayısına bağlı gelen güneş ışıınımı, konteyner iç hava ve atmosferik dış hava sıcaklığı bilgileri yardımıyla konteyner yüzeyindeki ısı transferi hesaplanmıştır. Konteyner dış yüzeyinden içe olan ısı girdi ve RF ekipmanlarının yaydığı ısı girdi toplanarak klimanın soğutma yükü hesaplanmıştır. Klimaların farklı iç ve dış hava sıcaklığı ve soğutma yükü koşullarına bağlı değişken COP ve sabit COP değerine göre klima elektrik tüketim değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen tüm bu hesaplar birleştirilerek baz istasyonunun, konum ve zamana bağlı ısıl modellemesi oluşturulmuştur. Deneysel uygulama aşamasında Turkcell, İTÜ Enerji Enstitüsü'nde iki konteynerini yapılan plana uygun konumlandırmıştır. Bu eş konteynerlerin biri karşılaştırma yapmak için güneşin kızılötesi ışınlarını yansıtma özelliğine sahip bir boya ile boyanmıştır. Konteynerlerin dış ve iç yüzeylerine Pt100'ler yerleştirilip datalogger ile yüzey sıcaklıkları kaydedilmiştir. Konteynerlerin gerçeğe yakın modellenmesi amacıyla RF ekipmanlarının yaydığı ısıyı simüle etmesi için ısıtıcılar içeri yerleştirilip zaman ayarlı prizle çalıştırılmış, ısı kapasitörü olarak da aküler kullanılmıştır. Klimaların elektrik tüketimi, sayaç haberleşmesi için yazılım geliştirilip sayaçlarla ölçülmüştür. 4 farklı durum için testler gerçekleştirilmiştir. Ölçülen yüzey sıcaklık değerlerine göre ısı transfer hesapları yapıp iki konteyner karşılaştırılmıştır. Aküler için aşırı sıcaklık maruziyeti kavramı geliştirilmiştir. Deneysel uygulama ile ısıl modelin karşılaştırılması yapılmıştır. Enerji tüketiminin ve işletme giderlerinin azaltılması için olası yaklaşımlar ile çözüm önerileri getirilmiştir.

THERMAL MODEL AND EXPERIMENTAL ANALYSIS OF GSM BASE STATIONS FOR ENERGY EFFICIENCY

SUMMARY

In this thesis, building up the thermal model of base station, verifying thermal model with experimental analysis and testing the different solutions for energy efficiency with the help of the experimentally corrected model have been realized to improve the energy efficiency of GSM base stations. Technical information have been gathered by the interviews and the field work done with Turkcell. Special paints and insulation materials have been studied and fundamental information is gathered on solar spectrum, solar radiation and heat transfer. With the knowledge of the coordinates, date and time of the base station and the position of the sun, the angles between the solar rays and the different surfaces of the station and the solar radiation coming on the surface of the container are theoretically calculated. With the help of material and structure of the container wall, geometrical measurements of the container, the incoming solar radiation depending on the absorption coefficient of the surface, inside temperature of the container and atmospherical outside temperature information, heat transfer on the container surface have been theoretically calculated. Cooling load of the air conditioner with the sum of the heating input from the outside surface to inside of the container and radio frequency equipments have been calculated. Electric power consumption of the air conditioner values have been calculated due to variable COP depending on different inside and outside air temperatures and cooling load conditions of the air conditioner and constant COP. By assembling all these theoretical calculations, the thermal modelling of the base station have been developed depending on the time and the location of the station. In the experimental part of the research, Turkcell established two containers according to the layout in the ITU Institute of Energy. One of the matching containers was painted with a special paint that reflects the infrared radiation. Pt100's were placed inside and outside surfaces of the containers and their surface temperatures were recorded by the datalogger. Heaters are placed inside the containers to simulate heat dissipation of radio frequency equipments. Clock regulated power sockets have been used to switch on the heaters. Lead-acid batteries have been used as heat capacitors. These arrangements have been organized to reach a realistic model of the containers. Electric power consumption of air conditioners are measured by electric power meters. With RS485 connection, computer and electric power meters communicate with each other to obtain data by software that has been developed at the Institute of Energy. For four different situations tests have been made. These tests are S1: air conditioners off – heaters off, S2: air conditioners off – heaters on, S3: air conditioners on – heaters on, S4: air conditioners blackout – heaters on. According to measured temperature values of the surfaces of the containers, heat transfer calculations have been done to compare the containers. Excess temperature exposure concept has been created for the batteries. Experimental implementation and thermal model have been compared. To reduce energy consumption and operating cost,

possible approaches and solution proposals have been provided. In the discussion part, one of the most important parameter is the air conditioner due to its operating cost and energy efficiency. Heat dissipation of radio frequency equipments is theoretically and experimentally verified as the greatest source in the cooling loads. Against excess temperature exposure of batteries at air conditioner blackouts, to obtain low inside air temperature of container is the emphasized solution proposal. With the help of the experimentally verified model, containers that placed besides Istanbul in different cities from Turkey and other countries can be analyzed for both summer and winter conditions. In this work up to date, theoretical model, experimental design and application have been done. In future to reduce operating costs, optimization and feasibility studies are more significant to gain energy efficient solutions.

1. GİRİŞ

1.1 GSM Baz İstasyonlarında Enerji Verimliliğinin Önemi

Türkiye’de yaklaşık 45000 baz istasyonu bulunmaktadır. İlk GSM operatörü 1994 yılında hayata geçmiştir. O yıldan günümüze baz istasyonu konteynerleri zaman içerisinde yenilenmesine rağmen büyük bir yüzdesi hala eski tip konteynerdir.

Enerji verimliliği kavramı; ülkemizde başta endüstri olmak üzere bir çok alanda önem kazanmaktadır. GSM operatörleri yeni tip konteynerleri ve eski tip konteynerlerin yenileme çalışmalarını tasarlarken enerji verimliliğini de göz önünde bulundurma çabası içersindedirler.

Radio Frequency(RF) ekipmanları ve özellikle aküler yüksek sıcaklıklarda zarar görürler. Bu nedenle konteynerlerin soğutma ihtiyacının karşılanması, tasarımlardaki önemli konulardan biridir.

Soğutma sürecindeki klima enerji tüketimlerinin azaltılması enerji verimliliği açısından önem taşırken, elektrik kesintisi gibi klimanın çalışmadığı durumlar da dahil olmak üzere akülerin ömürlerini uzun tutabilecek sıcaklık koşullarının sağlanması işletme verimliliği açısından önem taşımaktadır.

RF ekipmanlarının haberleşme sistemleri kısmı tez kapsamı dışında olup tezde amaçlananlar doğrultusunda incelenmemiştir.

Küresel ısınma sebebiyle GSM operatörleri CO2 emisyonunu azaltmaya yönelik önlemler almayı da amaçlamaktadır.

GSM operatörlerinin milyonlarca TL ile ifade edilen elektrik giderleri düşünülürse enerji verimliliği amaçlı geliştirilecek çözümler hem kendileri açısından hem de ülke ekonomisi açısından büyük önem taşımaktadır.

1.2 Tezin Amacı

Tezin temel amacı GSM baz istasyonlarında enerji verimliliğini arttırmak amacıyla istasyonun ısıl modellemesinin yapılması, deneysel olarak modelin doğrulanması ve deneysel olarak doğrulanmış model yardımıyla enerji verimliliğinde farklı çözüm önerilerinin sınanmasıdır. Bu çerçevede baz istasyonunun yer koordinatları, tarih ve saat bilgilerinden hareketle güneş ışınlarının istasyonun farklı yüzeyleriyle yaptığı açıları hesaplayan, yüzey yutma katsayıları yardımıyla gelen ışınımın yüzeyler üzerinde yutulan miktarlarını belirleyen, atmosferik sıcaklık verileri ile istasyonun geometrik ölçüleri, malzeme bilgilerini ve RF ekipmanlarının ısıl çıktı verilerini kullanarak istasyonun ısıl dengesini hesaplayan bir model geliştirilmiştir. Bu model yardımıyla; güneş ışınları, istasyonla atmosfer arasında sıcaklık farkı ve RF ekipmanları nedeniyle ortaya çıkan soğutma yükünü, buna bağlı enerji tüketimlerini ve ayrıca olası bir klima arızası durumunda aküler ve ekipmanların maruz kalacağı sıcaklıkların zamansal değişimlerini hesaplamak mümkün olmaktadır. Bu hesaplar yardımıyla da istasyon üzerinde yapılabilecek iyileştirmeler ve bu iyileştirmelerin enerji verimliliğine ve işletme giderlerine katkısı incelenebilmektedir. Deneysel çalışmalarla da tüm bu hesaplamalar doğrulanmaktadır.

1.3 Literatür Özeti

Doğrudan GSM istasyonlarının enerji verimliliği üzerine literatürde henüz bir çalışma yayınlanmamış olmakla birlikte bu çalışmada sunulan çözümler sırasında sıklıkla başvuru konular olan klimaların COP değerlerinin iç ve dış sıcaklıklara olan bağımlılığı ile akülerin ömürlerinin çalışma ve depolama sıcaklıklarına olan bağımlılığı konularında aşağıdaki temel çalışmalar incelenmiştir. Ayrıca GSM istasyonlarında yenilenebilir enerji teknolojileri uygulaması ile ısıl enerji depolama teknolojilerinin uygulamaları üzerine çalışmalar incelenmiştir.

Klimalarda COP sıcaklık bağımlılığı üzerine, değişken ve sabit tip kompresörlerde COP, evaporasyon sıcaklığı yükselince ve kondenzasyon sıcaklığı düşünce artar. Bunun tersi durumda sabit işletme koşullarında (evaporasyon ve kondenzasyon sıcaklıkları sabitken) kompresörün optimum frekansı COP'ı maksimize eder (Shuangquan ve diğ. , 2004).

COP evaporatör çıkışındaki kızgın buhar halindeki akışkan sıcaklığına bağlıdır. COP optimizasyonu, evaporatör ve kompresör basınçları, iç hava sıcaklığı, kompresör hızı, genişleme valfi açıklığı, dış hava sıcaklığı ve iç termal yük gibi birçok parametreye bağlıdır (Jin Long ve T.-J., 2006).

Venkatarathnam (2009) giriş ve çıkış hava sıcaklığına bağlı ideal klimanın COP tanımını yapmıştır. İdeal klimanın COP'si, klimaya giren ve çıkan hava sıcaklığının logaritmik ortalaması olan eşdeğer soğutma sıcaklığından türetilmiştir.

Jaworski (1998) geçmiş akü sıcaklıklarının istatistiksel dağılımını analiz eden bir method öne sürmüştür. Önceki kurulumlardan elde edilen hassas kaydedilmiş elektrolit verileri ya da yerel hava bürolarından elde edilen çevre sıcaklık dataları istatistiksel olarak kullanılabilir.

IEEE yüksek sıcaklığın akü ömürlerine etkisine yönelik rehberler vermiştir. IEEE 1187 (2002)'de sıcaklık- akü ömrü grafiğinde her 8.3 °C'de %50'lik lineer bir akü ömründe düşüş göstermiştir. IEEE 450 (2002)'e göre yüksek sıcaklıkta geçirilen aylar ile normal(25 °C) sıcaklıkta geçirilen ayların karşılaştırılması yapılmıştır. Sıcaklık değişimleri belirgin ise(3 °C'den fazla) bu dalgalanma sıklığına bağlı olarak hesap, her bir sıcaklık için genişletilmelidir.

Shanmuga Sundaram ve diğ. (2010) gündüz-gece sıcaklık değişimlerinin fazla olduğu çöl ve tropik bölgelerde termal enerji deposu entegre edilmiş termosifon kullanarak GSM baz istasyonları için pasif soğutma sistemi geliştirmiş ve fizibilite çalışması için testler yapmıştır. Çalışmada farklı aylar için sıcaklık profilleri, konvansiyonel soğutma sistemlerine göre avantajları çıkartılmıştır.

P. Nema ve diğ. (2010) izole bölgelerdeki GSM baz istasyonları için şebekeden bağımsız sürdürülebilir alternatif çözüm olarak dizel jeneratör yerine PV-rüzgar hibrid enerji sistemlerini öne sürmüştür. Çalışmada yakıt tüketiminin yaklaşık %80 azaldığı belirtilmiştir. İşletme ve bakım maliyetleri göz önüne alındığında rüzgar ve güneş açısından iyi konumda olan otonom çalışan hibrid sistem 2-4 senede kendisini amorti edecektir.

Lubritto ve diğ. (2010) enerji tüketimlerini ilgilendiren saha testlerinin sonuçlarını çalışmış, enerji verimli yenilenebilir enerji uygulamaları, baz istasyonlarındaki RF sistemlerinin enerji tüketimlerine yönelik geliştirilmiştir. Bir yazılım ayarlanıp test edilerek RF sistemlerinin enerji tüketimlerinin %10-20 aralığında azaltılabildiği gösterilmiştir.

1.4 Tezde Yapılanlar ve Elde Edilen Sonuçlar

Bu tez çalışmasında öncelikle iş paketleri oluşturulup tez planına göre çalışmalara başlanmıştır. Veri toplama kısmında Turkcell ile yapılan görüşme ve saha ziyareti sonucu teknik bilgiler elde edilmiştir. Özel boya ve yalıtım malzemeleri araştırılmış ve güneş spektrumu, ışıınımı ve ısı transferi ile ilgili temel bilgiler edinilmiştir. Elde edilen bilgilerden yararlanarak modelleme kısmında baz istasyonunun yer koordinatları, tarih ve saat bilgilerinden hareketle güneş konum açılarından yararlanılarak güneş ışınlarının istasyonun farklı yüzeyleriyle yaptığı açılar ve konteyner yüzeyine gelen güneş ışıınımı hesaplanmıştır. Konteyner duvar malzeme ve yapısı, konteyner geometrik ölçüleri, yüzey yutma katsayısına bağlı gelen güneş ışıınımı, konteyner iç hava ve atmosferik dış hava sıcaklığı bilgileri yardımıyla konteyner yüzeyindeki ısı transferi hesaplanmıştır. Konteyner dış yüzeyinden içe olan ısı girdi ve RF ekipmanlarının yaydığı ısı girdi toplanarak klimanın soğutma yükü hesaplanmıştır. Klimaların farklı iç ve dış hava sıcaklığı ve soğutma yükü koşullarına bağlı değişken COP ve sabit COP değerine göre klima elektrik tüketim değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen tüm bu hesaplar birleştirilerek baz istasyonunun, konum ve zamana bağlı ısı modellemesi oluşturulmuştur. Deneysel uygulama aşamasında Turkcell, İTÜ Enerji Enstitüsü'nde iki konteynerini yapılan plana uygun konumlandırmıştır. Bu eş konteynerlerin biri karşılaştırma yapmak için güneşin kızılötesi ışınlarını yansıtma özelliğine sahip bir boya ile boyanmıştır. Konteynerlerin dış ve iç yüzeylerine Pt100'ler yerleştirilip datalogger ile yüzey sıcaklıkları kaydedilmiştir. Konteynerlerin gerçeğe yakın modellenmesi amacıyla RF ekipmanlarının yaydığı ısıyı simüle etmesi için ısıtıcılar içeri yerleştirilip zaman ayarlı prizle çalıştırılmış, ısı kapasitörü olarak da aküler kullanılmıştır. Klimaların elektrik tüketimi, sayaç haberleşmesi için yazılım geliştirilip sayaçlarla ölçülmüştür. 4 farklı durum için testler gerçekleştirilmiştir. Ölçülen yüzey sıcaklık değerlerine göre ısı transfer hesapları yapıp iki konteyner karşılaştırılmıştır. Aküler için aşırı sıcaklık maruziyeti kavramı geliştirilmiştir. Deneysel uygulama ile ısı modelin karşılaştırılması yapılmıştır.

Tez çalışması kapsamında geliştirilen ısı model deneysel çalışmayla sınanmış ve bu model yardımıyla İstanbul ili yanısıra hem yaz hem de kış koşulları için farklı il ve ülkelerdeki farklı tasarlanmış konteynerler için analizler yapılabilmektedir.

Gerçekleştirilen bu tez çalışması sonucunda;

- Klimanın soğutma yükünün büyük bir çoğunluğunu iç ısı yükleri olan RF ekipmanlarının yaydığı ısının oluşturduğu,
- Güneşten gelen ışıının yüzey tarafından yutulması ile atmosferik dış hava sıcaklığı ve konteyner iç hava sıcaklığı farkından oluşan ısı transferinin dış ısı girdileri oluşturduğu, dış ısı girdilerin konteynerin yalıtım kalınlığı sebebiyle iç ısı girdilere göre çok düşük miktarda kaldığı,
- Yalıtım kalınlığının bir yandan dışarıdan içeriye olan ısı girdileri azaltarak klima için enerji verimliliği sağlarken, diğer yandan özellikle gece koşullarında içeriden dışarıya doğal yolla gerçekleşecek ısı atımına karşı da bir engel oluşturduğu,
- Kızılötesi yansıtıcı boya uygulamasının dışarıdan içeri olan ısı transferinde iç ısı yüklerinin olmadığı koşullarda iç hava sıcaklığında sıcaklık düşüşü sağladığı, özellikle elektrik kesintisine bağlı klimanın devre dışı kalması durumunda aşırı sıcaklık maruziyetine (ASM) karşı akü ömründe önemli avantajlar sağlayabildiği gösterilmiştir.

2. TEMEL BİLGİLER

2.1 Turkcell'den Veri Toplama

Turkcell A.Ş saha ürün yönetimi ile yapılan görüşmeler sonucunda konteyner ve klimalar hakkında **Çizelge 2.1, 2.2**'deki bilgiler toplanmıştır.

Çizelge 2.1 : Konteyner bilgileri.

Tipi:	Eski tip konteyner ve kullanılan ekipmanlar:	Yeni tip konteyner ve kullanılan ekipmanlar:
	A Tipi Konteyner	B Tipi Konteyner
Ölçü:	2x2x2.4 ve 2x3.1x2.4 (m)	2x2x2.4 ve 2x3.1x2.4 (m)
Zemin:	20cm kalınlığında beton kaide	20cm kalınlığında beton kaide
Duvar	Dış yüzey malzemesi 0.73 mm galvanizli trapez sac , iç yüzey malzemesi 8 mm suntalam , izolasyon malzemesi 80 mm cam yünü	Dış ve iç yüzeyleri 0.50 mm galvanizli sac , izolasyon malzemesi 60 mm poliüretan
Taban	0.73 mm galvaniz sac , iç kaplama 18 mm MDF , izolasyon malzemesi 80 mm polistiren köpük	0.5 mm galvaniz sac , iç kaplama en az 10 mm plywood , zemin üst malzemesi dukap , izolasyon malzemesi 80 mm poliüretan köpük
Tavan	0.73 mm galvanizli sac , izolasyon malzemesi 100 mm cam yünü , iç yüzey malzemesi 8 mm suntalam	0.50 mm iki kat galvaniz sac , izolasyon malzemesi 80 mm poliüretan , iç sac 0.50 mm
Kapı&Pencere	Dış kapı kasa malzemesi 1.25 mm galvanize sac , dış kapı malzemesi 0.75 mm galvanize sac , kapı ölçüsü 190 cm x 85 cm	Doğrama kasaları 1.23 mm galvanizli sac , dış kapı her iki yüzeyi 1.2 mm galvaniz sac , kapı ölçüsü 190 cm x 80 cm

Çizelge 2.1 (devam) : Konteyner bilgileri.

Tipi:	Yeni tip konteyner ve kullanılan ekipmanlar:	Seperasyon
	C Tipi konteyner	
Ölçü:	2x2x2.4 ve 2x3.1x2.4 (m)	2x2x2.4 ve 2x3.1x2.4 (m)
Zemin:	20 cm kalınlığında beton kaide	en az 10 cm
Duvar	Dış yüzeyleri 0.50 mm galvanizli sac , iç yüzeyleri 0.40 mm galvanizli sac , izolasyon malzemesi 50 mm poliüretan	Dış ve iç yüzeyleri 1 mm alüminyum sac , izolasyon malzemesi 38 mm polistiren köpük (sandviç panel kalınlığı 40 mm)
Taban	0.73 mm galvaniz sac , iç kaplama en az 18 mm plywood , zemin üst malzemesi dukap , izolasyon malzemesi 80 mm poliüretan köpük	Alüminyum ızgara, 18 mm plywood ve PVC kaplama
Tavan	Dış yüzeyleri 0.73 mm galvaniz sac , iç yüzeyleri 0.4 mm galvaniz sac , izolasyon malzemesi 80 mm Poliüretan	Dış ve iç yüzeyleri 1 mm alüminyum sac , izolasyon malzemesi 38 mm polistiren köpük (sandviç panel kalınlığı 40 mm)
Kapı&Pencere	Doğrama kasaları 1.23 mm galvanizli sac , dış kapı her iki yüzeyi 1.2 mm galvaniz sac , kapı ölçüsü 190 cm x 80 cm	Kapı ölçüsü 85 cm x 210 cm

Çizelge 2.2 : Klima bilgileri.

	Yeni	Eski
Markası:	LG-Beko	
Model:	7780-D Invertorlu	5805 D (Invertorsuz)
Soğutma gücü:	18000 BTU/h	24000 BTU/h
Güç Tüketimi:	1640 Watt (soğutma)	2500 Watt(soğutma)
EER:	3.22	2.81
Sıcaklık Aralığı:	(-15 °C) - (43 °C)	-
İç ünite boyutları:	1090x223x300 (mm)	1080x314x182 (mm)
Dış ünite boyutları:	870x320x655 (mm)	840x600x280 (mm)

Çizelge 2.2 (devam) : Klima bilgileri.

Markası:	Toshiba	
Model:	RAS-22SKVR-E Invertorlu	
Soğutma gücü:	22000 BTU/h	
Güç Tüketimi:	1,995 (0,20 - 2,65) kW (soğutma)	
EER:	3.01	
Sıcaklık Aralığı:	(-10 °C) - (46 °C)	
İç ünite boyutları:	320x1050x228 (mm)	
Dış ünite boyutları:	550x780x290 (mm)	
Markası:	Zibro	
Model:	S1753 Invertorlu	
Soğutma gücü:	18000 BTU/h	
Güç Tüketimi:	1.85 kW (soğutma)	
EER:	2.81	
Sıcaklık Aralığı:	(1 °C) - (43 °C)	
İç ünite boyutları:	799 x 295 x 232 (mm)	
Dış ünite boyutları:	780 x 530 x 277 (mm)	
Markası:	Alarko-Carrier FLAIR	
Model:		FLR-24AA (Invertorsuz)
Soğutma gücü:		22500BTU/h
Güç Tüketimi:		2056 Watt(soğutma)
EER:		3.21
Sıcaklık Aralığı:		(-7 °C) - (43 °C)
İç ünite boyutları:		1007x315x219 (mm)
Dış ünite boyutları:		955x700x424 (mm)
Markası:	Alarko-Carrier FLAIR	
Model:		FLR-24GW (Invertorsuz) İTÜ'deki sahada uygulanmış model
Soğutma gücü:		24000 BTU/h
Güç Tüketimi:		3375 Watt(soğutma)
EER:		2.05
Sıcaklık Aralığı:		-
İç ünite boyutları:		-
Dış ünite boyutları:		-

2.1.1 Turkcell saha ziyareti

Turkcell saha ürün yönetimi ile birlikte Maslak Büyükdere Cad. İTÜ Girişindeki 31569 site kodlu baz istasyonu ziyaret edildi.

Sahanın dış cepheden **Şekil 2.1**'de gösterilen fotoğrafları çekildi, konteynerin içten **Şekil 2.2**'de gösterilen fotoğrafları çekildi. Saha ve ekipmanlar hakkında bilgi alındı.

Ziyaret edilen saha 2x2x2 (m) boyutlarında bir konteynere sahip olup, diğer konteynerlerden farklı olarak gizlemek için dış cephe kaplaması vardır. Yeni tip bir konteynerdir, dağıtım panosu eski tiplerden farklı olarak konteyner girişinde hemen soldadır.

6x4 adet 12 V-100 Ah'luk akü vardır, Ericsson RBS2216 modelinde 2 adet GSM kabineti, 1 adet 3G için RBS 3206 kabineti(3G için eski tip) vardır. Delta Electronics marka bir rectifier ünitesi vardır. Ericsson Mini-Link marka bir transmitter ünitesi bulunmaktadır.

Termal kamera ile dış cephe ve konteynerin içi görüntülendi. Bağlı sıcaklıklar gözlemlendi. Klima kapatılıp ikinci bir çekim yapıldı.

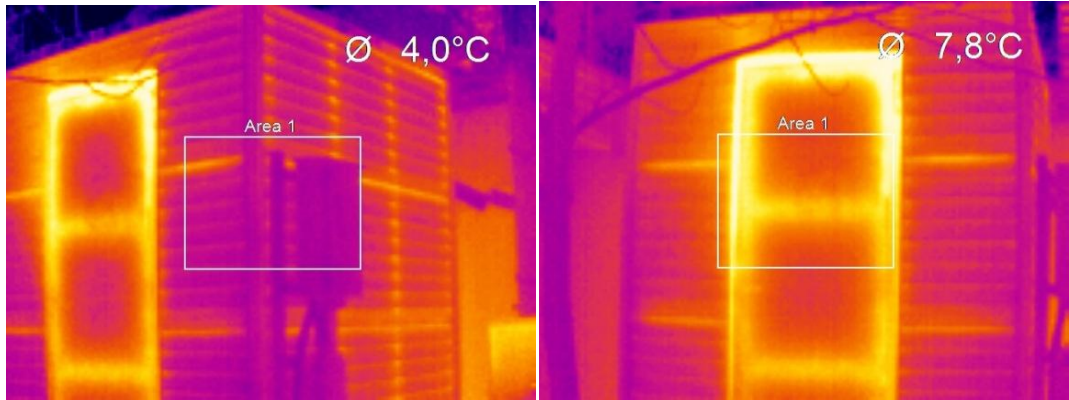


Şekil 2.1 : Farklı açılardan konteyner fotoğrafları.



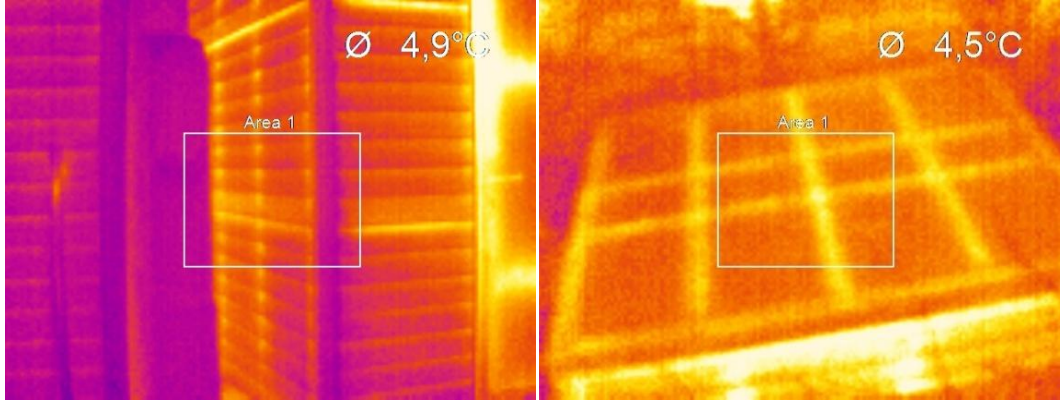
Şekil 2.2 : Konteyner iç görüntüleri.

Termal kamera ile yapılan çekimlerde görüntülerde çerçeve içersindeki bölgenin ortalama sıcaklıkları, görüntülenen malzemelerin emissivite değerine bağlı olduğundan ve bu değerlerin yüksek doğrulukla bilinmemesi ve termal kameraya girilememesi nedeniyle sıcaklıkların kendisi değil ancak farkları güvenilir bir bilgi vermektedir. Sıcaklık farklarını sarı-mor renk aralığında gözlemlemek mümkündür. Kış şartlarındaki bu görüntülerden kapı çerçevesinde içeriden dışarıya önemli ısı geçişi olduğu **Şekil 2.3**'te görülmektedir. Bu durum yaz aylarında da tersine dışarıdan içeriye ısı kaçağı olacak bölgeyi göstermektedir.



Şekil 2.3 : Konteyner kapısının kasasında içeriden dışarıya ısı geçişi (sıcaklık farkı) görülmektedir.

Konteynerin tavan ve duvar panellerindeki ısı yalıtım kaplaması **Şekil 2.4, 2.5**'de fark edilmektedir. Dışarıdan çekilmiş görüntülerde içerisi dışarıya göre daha sıcak olduğundan ısı yalıtımı kaplamanın çerçevesi yani yalıtıma tam denk gelmeyen kısmı sarı, kendisi ise turuncu (daha soğuk) görülmektedir. İçeriden çekilmiş görüntülerde ise tam tersine dışarının daha soğuk olması nedeniyle çerçeveler mor, ısı yalıtım kaplamaları ise kırmızı (daha sıcak) görülmektedir.

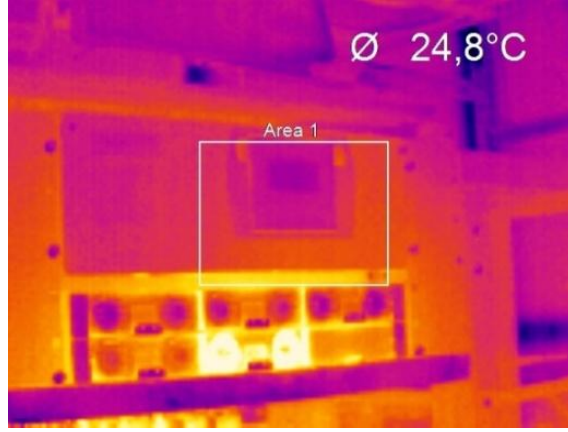


Şekil 2.4 : Dışarıdan duvar ve tavan görüntüsü.

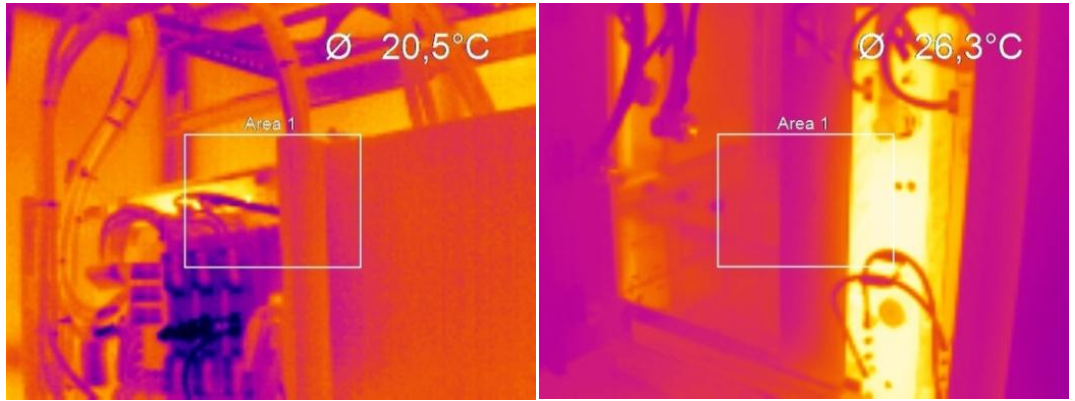


Şekil 2.5 : İçeriden duvar görüntüsü.

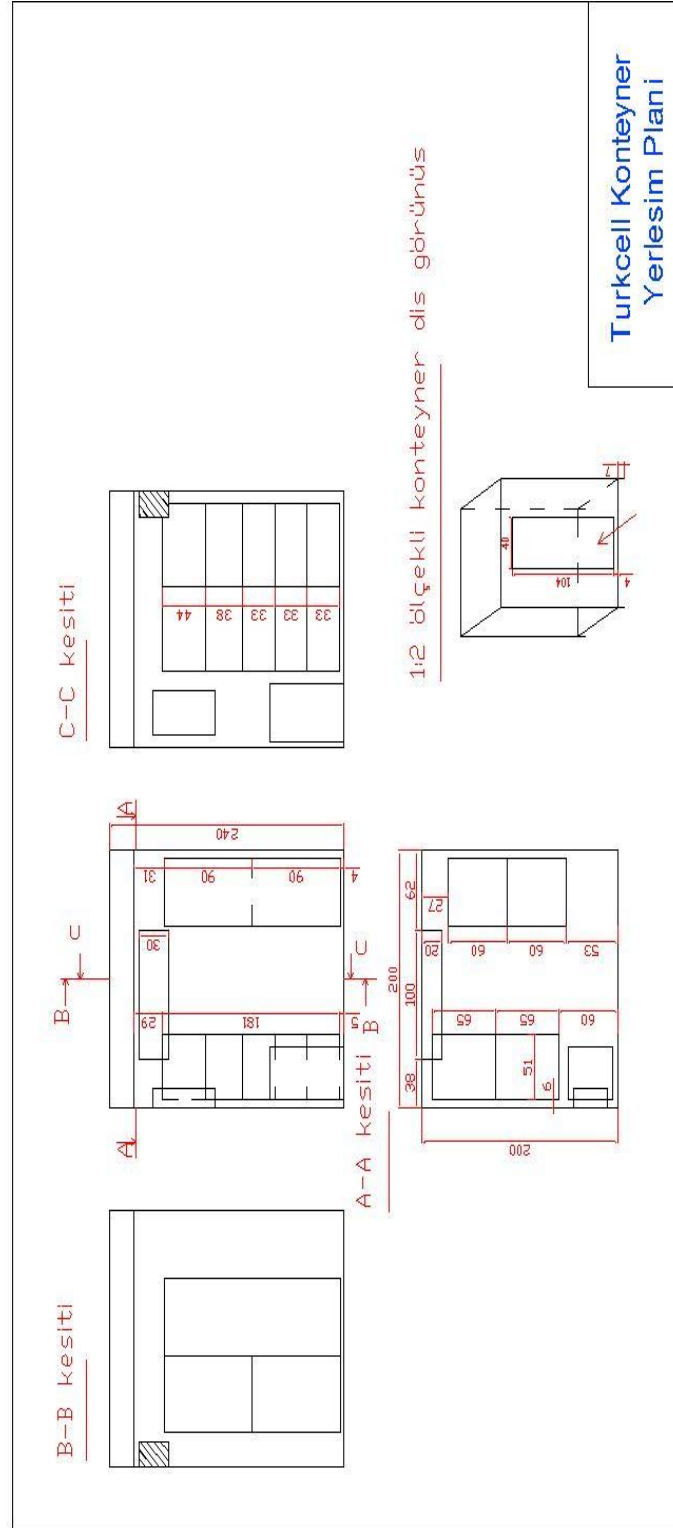
Şekil 2.6, 2.7'de konteyner sahasındaki gözlemler aktarılmıştır. **Şekil 2.8**'da yer alan konteyner yerleşim planı, saha ziyaretinde çıkartılan metraja göre çizilmiştir.



Şekil 2.6 : Rectifier ünitesindeki fan arızası.



Şekil 2.7 : GSM kabininde ısı yayan RF ünitesi de gözlenmektedir.

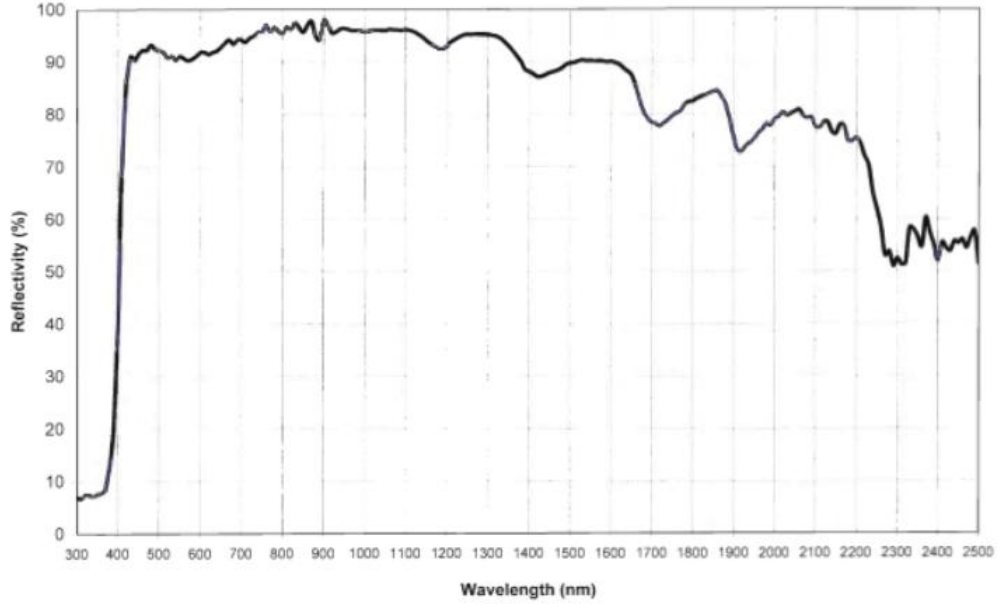


Şekil 2.8 : Konteyner içerisinde yerleşim planı.

2.2 Boya ve Yalıtım Malzemeleri

2.2.1 Özel boyalar

Kızılötesi ışınları yansıtma özelliğine sahip boyalar güneş ışınlarının taşıdığı enerjinin belli bir miktarını diğer boyalara göre yüksek oranda yansıtıp, güneş ışınlarına bağlı ısınmayı azaltırlar. **Şekil 2.9**'da bir boya markasının Yunanistan'daki bir lab. da Lamda 19- Perkin Elmer test cihazıyla yapılan bir test sonucu bulunmaktadır. Buna göre infrared spectrumunda (760 nm-2500 nm dalgaboyları arasında) 700-1300 nm aralığında yansıtma oranı $R = \%92$, 700-2500 nm aralığında ise $\%82$ dir.



Şekil 2.9 : Dalga boyuna bağlı reflektivite test sonucu.

Bu boyalar arasında Supertherm marka boya ile saha testleri daha sonra yapılmış ve etkinliği gözlemlenmiştir.

2.2.2 Yalıtım malzemeleri

Isı yalıtımında kullanılan malzemeler arasında Turkcell konteynerlarında kullanılan malzemelerden yola çıkılarak **Çizelge 2.3** oluşturulmuş ve modelde kullanılmıştır(Akıncı H, 2007, sy. 44).

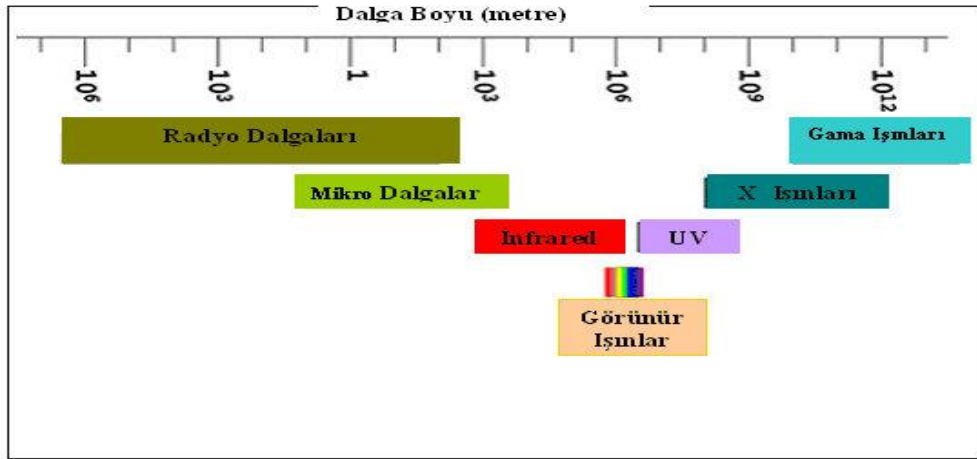
Çizelge 2.3 : Malzemeler ve ısı iletkenlik değeri.

Isı İletimi Hesabı için Malzeme:	λ değeri: (W/mK)
Poliüretan	0,023
Çelik	3,96
Camyünü	0,04
Taşıyünü	0,04
XPS	0,035
EPS	0,04
Kauçukköpük	0,038
Polietilenköpük	0,04
HPC	0,0846
Suntalam	0,15

2.3 Güneş Spektrumu

Güneş ışınımı oldukça geniş bir aralıktaki dalga boylarını kapsar. Güneşten yayınlanan ve bilinen farklı dalga boylarındaki tüm elektromanyetik radyasyonun bütünü **Şekil 2.10**'da gösterilen Elektromanyetik Güneş Spektrumu olarak isimlendirilir. Anılan bu spektrumda, güneş ışınımı dalga boylarına göre sıralanır ve aşağıda verilen temel gruplar ile ifade edilir.

- Gama Işınları
- X- Işınları
- Ultraviole Işık
- Görünür (Visible) Işık
- **Kızıl Ötesi (Infrared) Işık**
- Radyo Dalgaları



Şekil 2.10 : Elektromanyetik spektrum (URL-1, 28.07.2011).

2.3.1 Kızıl ötesi (infrared) ışık

Elektromanyetik spektrumda biraz daha uzun dalga boyunda (daha düşük enerjili) görünen bölüm spektrumunun kızıl ötesi bölümüdür (IR). Infrared ışınların enerjileri elektronların enerjilerini değiştirmek için çok küçüktür. Bunun yerine, infrared radyasyon; moleküllerin titreşim durumlarını değiştirme eğilimindedir ki bu, bir moleküldeki atomların çok hızlı ileri ve geri sallanması anlamına gelir. Moleküller kızılötesi ışınları yuttuklarında daha hızlı hareket ederler ve böylece moleküllerin sıcaklıkları artar. Işınım lambaları bu prensiple çalışır. Isı geçişi, infrared elektromanyetik radyasyonda çoğunlukla “radiant ısı” olarak bilinir.

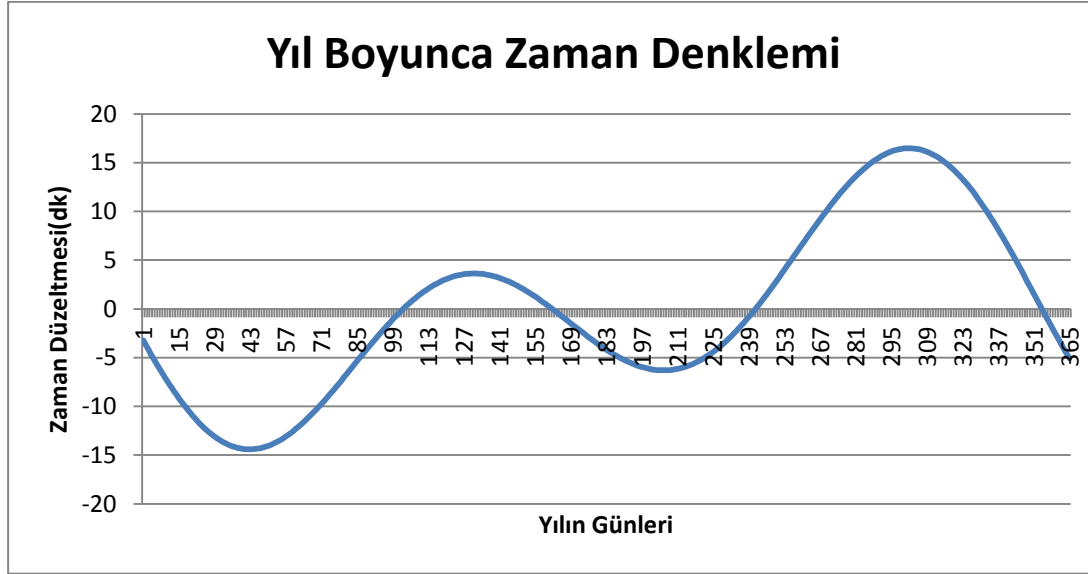
2.4 Güneş Açıları ve Konumu

Enlem Açısı(e): Gözönüne alınan yeri, Dünya merkezine birleştiren doğrunun Dünyanın ekvator düzlemi ile yaptığı açıdır.

Saat Açısı(h): Saat açısı, Güneş boylamının göz önüne alınan yerin boylamı ile aynı olduğu “Güneş öğlesi”nden itibaren ölçülür. Gözönüne alınan yerin boylamı ile Güneşin bulunduğu boylamın ektavor düzlemindeki izdüşümleri arasındaki açıdır. Her 15° saat açısı (boylam farkı) 1 saat zamana tekabül eder.

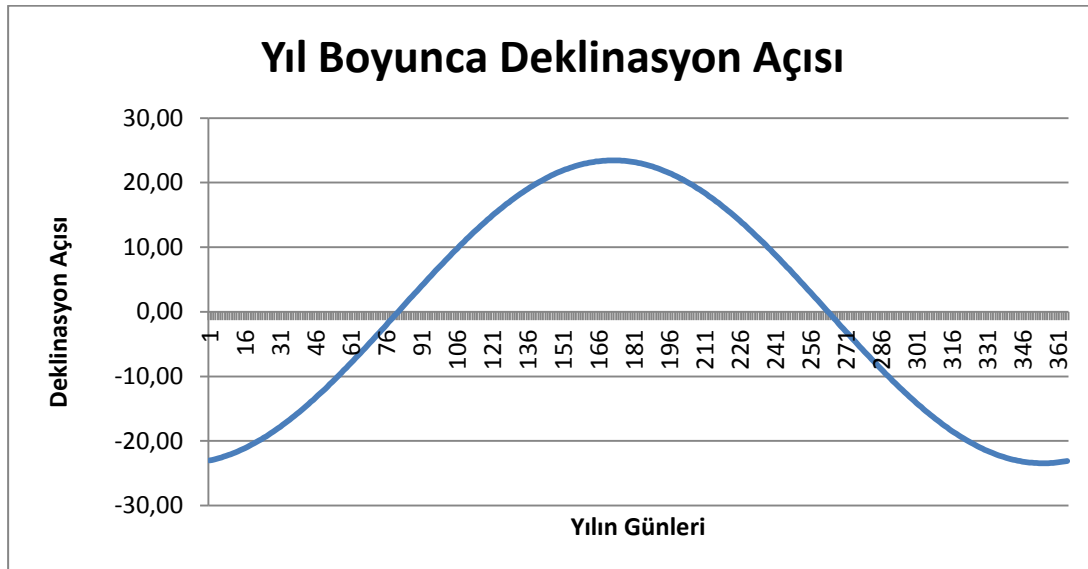
Güneş Zamanı: Güneşin bir gözlem yerine ait saat açısına o yerdeki “gerçek Güneş zamanı” denir. Güneşin merkezinin bir gözlemcinin meridyeninden ard arda iki geçişi arasında kalan zaman gerçek Güneş günüdür. Güneş bir Yerin meridyeninde bulunduğu anda o yerde gerçek öğle oldu denir. Gerçek Güneş günün uzunluğu sabit olmayıp mevsimden mevsime değişmektedir. Gerçek güneş zamanı ile ortalama

Güneş zamanı arasındaki farka zaman denklemi denir. **Şekil 2.11**'de gösterilen zaman denklemi bir yıl boyunca $-14,2$ dk ile $+16,3$ dk arasında değişir(Şişman A. , Barutçu B. , 2010).



Şekil 2.11 : Yıl boyunca zaman denklemi.

Deklınasyon Açısı(δ): Güneş ışınlarının geliş doğrultusunun ekvator düzlemi ile yaptığı açıdır. Bu açı dünyanın dönme ekseninin, yörünge düzleminin normali ile yaptığı $23^{\circ}27'$ lık (23.45°) açıdan ileri gelir. **Şekil 2.12**'de yıl boyunca deklınasyon açısı verilmiştir(Şişman A. , Barutçu B. , 2010).



Şekil 2.12 : Yıl boyunca deklınasyon açısı.

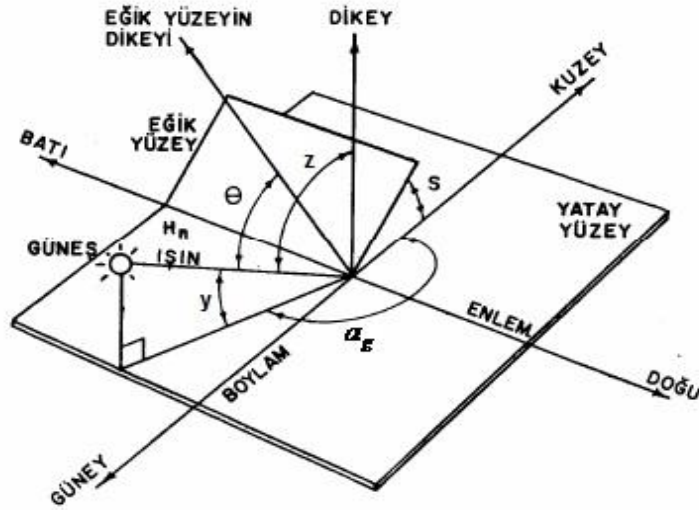
Zenit Açısı (z): Yatay düzlemin normali ile direkt güneş ışınlarının arasındaki açıdır. Güneş doğuşunda ve batışında $z=90^\circ$ ve güneş ışınları yatay düzleme dik geldiği zaman $z=0$ dır.

Yükseklik Açısı (y): Direkt güneş ışınlarının yatay düzlemle yaptığı açıdır.

Güneş Azimut Açısı (a_g): Güneş ışınımının geliş doğrultusunun yatay düzlemdeki izdüşümü ile kuzey-güney doğrultusu arasında kalan açıdır. **Şekil 2.13**'te güneş açıları verilmiştir.

güneyden doğuya doğru(sabahları) +

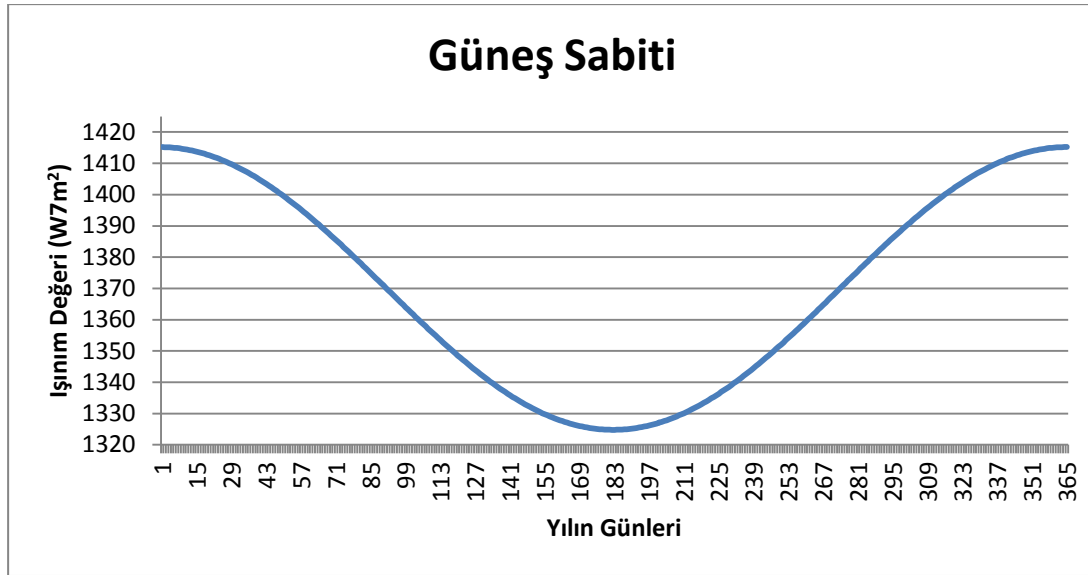
güneyden batıya doğru(öğleden sonra) –



Şekil 2.13 : Güneş açıları(Kıncay O., 2011).

2.5 Yeryüzüne Gelen Güneş Işınımı

Atmosfer dışında Güneş ışınlarına dik birim alana bütün dalga boylarında anlık gelen güneş ışınımının değeri Dünya-Güneş mesafesi değiştiğinden sabit değildir. Hesaplarda kolaylık sağlaması açısından ortalama 1370 W/m^2 alınır ve bu değer **Şekil 2.14**'te gösterilen “Güneş Sabiti” olarak isimlendirilir(DIN 5034, 1985).



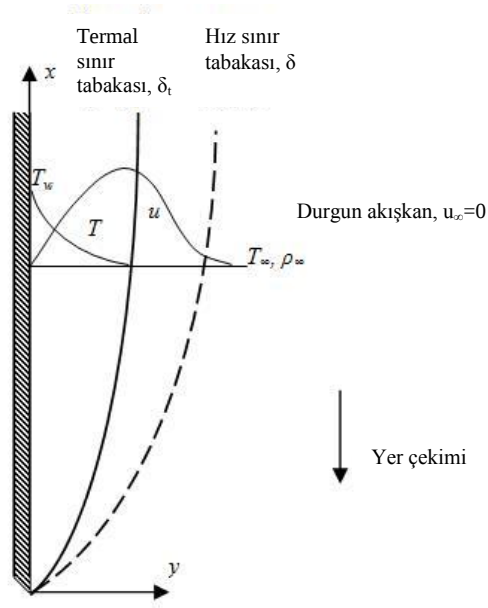
Şekil 2.14 : Güneş sabiti.

Güneş ışınları atmosferi geçerken, atmosferde bulunan parçacıklar tarafından yutulur, saçılır ve böylece azalarak ışıının belli bir kısmı yeryüzüne ulaşır. Doğrudan yeryüzüne gelen kısmına “direkt güneş ışıını” saçılan ışıınıların yeryüzüne gelen kısmına “difüzif güneş ışıını” adı verilir. Yeryüzüne ulaşan güneş ışıını yükseklik açısı ve atmosferin fiziksel karakterine (turbidite faktörü, optik kalınlık ort., optik hava kütlesi ve hava basıncı) bağılı olarak değışir.

2.6 Doğal Taşınım

Doğal taşınım; akışkan içinde sıcaklık farklarının yol açtığı yoğunluk farkının yer çekim alanında oluşturduğu basınç farkı sebebiyle akışkanın hareket etmesi ile ortaya çıkan ısı taşınımıdır. Doğal taşınımında akış hızları genellikle zorlanmış taşınımdayakilere göre çok daha küçük olduğundan, doğal taşınım ile ısı geğışi de daha yavaştır. Farklı yollarla ısı geğışinin olduğu birçok uygulamada, doğal taşınım ısı geğışine en büyük direnci oluşturur. Bu nedenle sistemin tasarımında veya performansında önemli bir rol oynar.

Konteynerlerde ısı transferi hesabı yapılırken en kötü durumu göz önüne almak için rüzgarın etkisi ihmal edilerek doğal taşınım kabulü yapılmıştır. Doğal taşınım sırasında oluşan sınır tabakaları **Şekil 2.15**'de gösterilmiştir.



Şekil 2.15 : Dikey plaka üzerinde doğal taşınım sırasında oluşan farklı sınır tabakalar(Incropera, 2000).

$$\dot{Q} = hA(T_1 - T_\infty) \quad (2.1)$$

Taşınım ile ısı transferi denklem(2.1)'de gösterildiği gibidir.

3. ISIL MODELLEME

3.1 Güneş Konum Açıları

3.1.1 Saat açısı (h):

Denklem (3.1a)'dan Güneş saati ve (3.1b)'den saat açısı elde edilir(Kaptan, N., 2011).

$$GS = YS - (30 - B_y) / 15 + ZD / 60 \quad (3.1a)$$

$$h = 15(12 - GS) \quad (3.1b)$$

GS: Güneş saati

B_y : Bulunulan yerin boylamı

YS: Yerel saat

ZD: Zaman düzeltmesi (zaman denklemi)

3.1.1.1 Zaman denklemi (dakika olarak):

Denklem (3.2a) ve (3.2b)'den zaman denklemi dakika cinsinden bulunur(Kaptan, N., 2011).

$$J' = 360 \frac{J}{365} \quad (3.2a)$$

$$ZD(J) = 0.0066 + 7.3525 \cos(J' + 85.9^\circ) + 9.9359 \cos(2J' + 108.9^\circ) + 0.3387 \cos(3J' + 105.2^\circ) \quad (3.2b)$$

J burada yılın gününü ifade eder. (örneğin; 1 ocak J=1, 31 Aralık J=365)

3.1.2 Deklinasyon açısı (δ):

Denklem (3.3)'ten deklinasyon açısı yılın gününe bağlı olarak bulunur(Kaptan, N., 2011).

$$\delta = 23.45 \sin \left(360 \frac{J + 284}{365} \right) \quad (3.3)$$

3.1.3 Zenit açısı (z):

Denklem (3.4)'ten zenit açısı enlem, deklinasyon ve saat açısına bağlı olarak bulunur(Kaptan, N., 2011).

$$z = \arccos(\cos e \cos \delta \cosh + \sin e \sin \delta) \quad (3.4)$$

e: Enlem açısı

3.1.4 Yükseklik açısı (y):

Denklem (3.5a)'dan yükseklik açısı enlem, deklinasyon ve saat açısına bağlı olarak bulunur(Kaptan, N., 2011). Denklem (3.5b)'de ifade edildiği şekilde zenit açısı ile yükseklik açısının toplamı 90° dir.

$$y = \arcsin(\cos e \cos \delta \cosh + \sin e \sin \delta) \quad (3.5a)$$

$$z + y = 90^\circ \quad (3.5b)$$

3.1.5 Güneş azimut açısı (a_g):

Denklem (3.6)'dan güneş azimut açısı saat, deklinasyon ve yükseklik açılarına bağlı olarak bulunur(Kaptan, N., 2011).

$$a_g = \arcsin \left(\frac{\sinh \cos \delta}{\cos y} \right) \quad (3.6)$$

3.2 Konteyner Hesapları

3.2.1 Konteyner ölçüleri

Konteyner ölçüleri hesap için seçilir. En, boy ve yükseklik değerlerine göre konteynerin yüzey alanları hesaplanır.

Ön ve Arka Yüzey= (En) x (Yükseklik)

Sağ ve Sol Yüzey= (Boy) x (Yükseklik)

Üst Yüzey= (En) x (Boy)

3.2.2 Konteyner duvar malzeme ve yapısı

Konteynerin farklı yüzeylerindeki ısı transferi hesabı için her bir duvarın ısı geçiş katsayısı ayrı ayrı hesaplanır. **Şekil 3.1**'de gösterilen sandviç yapıdaki duvarların malzemelerine göre farklı ısı iletkenlik değerleri hesaba katılarak duvarın ısı geçiş katsayısı denklem (3.7)'e göre bulunur(Incropera, 2000).

$$U_D = \frac{1}{\frac{l_{\zeta}}{\lambda_{\zeta}} + \frac{l_{y_1}}{\lambda_{y_1}} + \frac{l_{y_2}}{\lambda_{y_2}}} \quad (3.7)$$

U_D : Duvarın ısı geçiş katsayısı (W/m²K)

l_{ζ} : Çelik sacın kalınlığı (m)

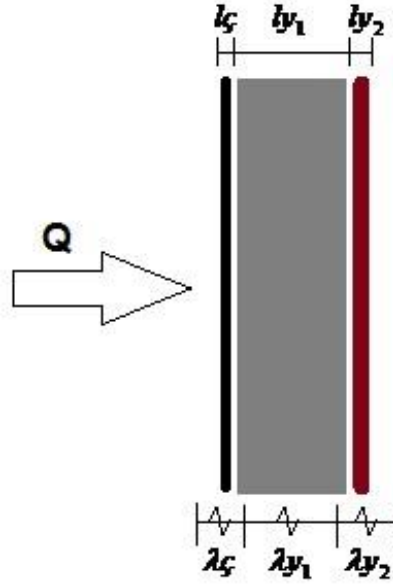
λ_{ζ} : Çelik sacın ısı iletkenlik değeri (W/mK)

l_{y_1} : Yalıtım malzemesinin kalınlığı (m)

λ_{y_1} : Yalıtım malzemesinin ısı iletkenlik değeri (W/mK)

l_{y_2} : İkinci bir duvar malzemesinin kalınlığı (m)

λ_{y_2} : İkinci bir duvar malzemesinin ısı iletkenlik değeri (W/mK)



Şekil 3.1 : Sandviç duvarda ısı iletimi şematik gösterimi.

3.3 Meteorolojik Veriler ve Kullanımı

İTÜ Enerji Enstitüsü'nün meteorolojik istasyonundan 2010 yılı için dakikalık dış hava sıcaklık verileri alınmıştır. Yine İTÜ'deki bir meteorolojik istasyondan 2000-2004 yılları arasındaki dış hava sıcaklık verilerinden günlük ortalamalar alınıp elimizdeki 2010 yılı dakikalık verilerden elde edilen günlük ortalama değerleri ile farkları hesaplanarak gelecek yıllar için bir veri seti oluşturulmuştur. İstanbul için yapılan bu hesaplamaların yanında, diğer illerin meteorolojik verileri olmadığından, diğer iller için illerin İstanbul ile olan yaz sıcaklık ortalamaları farkından yola çıkarak dış hava sıcaklık verileri suni olarak üretilmiştir. Daha sağlıklı bir hesap için illerin meteorolojik verileri temin edilmelidir. Dış hava sıcaklıkları ısı transferi hesabında daha sonra kullanılacaktır.

3.4 Yüzeye Gelen Işınım Hesabı

3.4.1 Yeryüzüne gelen ışıınım miktarı

Yeryüzüne gelen ışıınım hesabı için, Alman standardı DIN5034-2EN kullanılmıştır. Denklem (3.8), (3.9), (3.10a) ve (3.10b)'den yola çıkılarak denklem (3.11) elde edilir(DIN 5034 Part 2, 1985).

$$p / p_0 = \exp(-H / H_R) \quad (3.8)$$

$$\delta_R m = (0.9 + 9.4 \sin(y))^{-1} \quad (3.9)$$

$$f = 1 + 0.033 \cos\left(360 \frac{J}{365}\right) \quad (3.10a)$$

$$E_o = f E_G \quad (3.10b)$$

$$E_s = E_o \sin(y) \exp(-T_L \delta_R m p / p_0) \quad (3.11)$$

E_s : Yeryüzüne gelen direkt ışıınım (W/m²)

E_o : Yılın gününe bağılı güneş sabiti (W/m²)

E_G : Güneş sabiti (1353 W/m²)

f : Güneş sabitini günlere göre düzeltme faktörü

J : Gün sayısı

y : Yükseklik açısı

T_L : Türbidite faktörü

$\delta_R m$: Atmosferin optik kalınlık ortalaması ve optik hava kütlesi

p / p_0 : Hava basıncı düzeltmesi

H : Hesap yapılan yerin denizden yüksekliği (km)

H_R : 8 km

3.4.2 Güneş geliş açısı

Denklem (3.12)'de deklinasyon, enlem, saat, eğim ve yüzey azimut açılarından yararlanılarak güneş geliş açısı elde edilmiştir(Kaptan, N., 2011).

$$\theta = \arccos \left(\begin{aligned} &\cos \delta \cos e \cosh \cos s + \cos \delta \sin e \cosh \sin s \cos a_y \\ &+ \cos \delta \sinh \sin s \sin a_y + \sin \delta \sin e \cos s - \sin \delta \cos e \sin s \cos a_y \end{aligned} \right) \quad (3.12)$$

θ : Güneş geliş açısı, güneş ışınlarının eğik düzlemin normali ile yaptığı açıdır.

s : Eğim açısı

a_y : Yüzey azimut açısı

δ : Deklinasyon açısı

h : Saat açısı

e : Enlem açısı

Konteynera özel durumlar:

Yüzey azimut açısı; yüzeyin normalinin yatay düzlemdeki izdüşümünün kuzey-güney doğrultusuyla yaptığı açığa denir. **Şekil 3.2**'de yüzey azimut açısı gösterilmiştir. Konteynerin kapısını bulunduğu ön yüzeyi güneşe baktığında;

Ön yüzeyde $a_y=0^\circ$

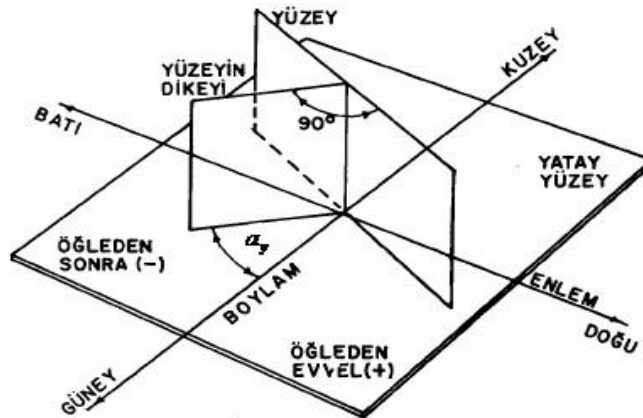
Sağ yüzeyde $a_y=90^\circ$

Sol yüzeyde $a_y=-90^\circ$

Arka yüzeyde $a_y=180^\circ$ olur.

Eğer konteynerin ön yüzeyinin normali güney-kuzey doğrultusuyla açı yapıyorsa, bu doğu yönünde +, batı yönünde – derece ile her bir yüzey için a_y açı değerlerine eklenir.

Eğim açısı; eğik yüzeyin yatayla yaptığı açığa denir. Konteynerin yan yüzeyleri için (yatay düzleme dik yüzeyler) $s=90^\circ$ iken, üst yüzeyi için $s=0^\circ$ ve $\theta=z$ olur.



Şekil 3.2 : Yüzey azimut açısı(Kıncay O., 2011).

3.4.3 Konteyner yüzeyine gelen ışınlm

Konteyner yüzeyine gelen ışınlm hesabı denklem (3.13)'te gösterilmiştir.

$$J_s = \cos \theta E_s \quad (3.13)$$

J_s : Konteyner yüzeyine güneşten gelen ısı akısı (W/m²)

θ : Güneş geliş açısı

3.5 Isı Transferi Hesapları

3.5.1 Doğal taşınım hesabı

Denklem (3.14), (3.15) ve (3.16)'dan yararlanılarak denklem (3.17)'deki dış yüzey için doğal taşınım katsayısı elde edilir(Incropera, 2000). Yüzey ile akışkan arasındaki ısı transferinde Nusselt sayısı, konveksiyon ile gerçekleşen ısı transferinin iletim ile gerçekleşen ısı transferine olan oranıdır. Nusselt sayısı 1'e yakın olduğunda, yani konveksiyon ile iletim birbirine yakın büyüklükte olduğunda, bu akış laminar akış karakteristiği gösterir. Daha büyük Nusselt sayısı daha aktif bir konveksiyona karşılık gelir ve 100-1000 arasında değer alıp türbülans akış karakteristiği gösterir. Nusselt sayısı, Reynolds ve Prandtl sayılarına bağlı deneysel formüllerle hesaplanır.

$$T_{ort} = (T_D + T_{DY}) / 2 \quad (3.14)$$

$$gB / av = 0.01T_{ort}^2 - 2.13T_{ort} + 146.3 \quad (3.15)$$

$$k = 3 \times 10^{-7} T_{ort}^2 + 5 \times 10^{-5} T_{ort} + 0.024 \quad (3.16)$$

$$h = 0.517 \left(gB / av 240^3 |T_{DY} - T_D| \right)^{1/3} k / 2.4 \quad (3.17)$$

h : Dış yüzey için doğal taşınım katsayısı (W/m² K)

T_{ort} : Dış hava sıcaklığı ile yüzey sıcaklık ortalaması (K)

k : Havanın ısı iletim katsayısı (W/m K)

T_{DY} : Dış yüzey sıcaklığı (K)

T_D : Dış hava sıcaklığı (K)

g : Yerçekimi ivmesi (m/s^2)

B : Genleşme Katsayısı (K^{-1})

a : Isı yayılma katsayısı (m^2/s)

ν : Kinematik viskozite (m^2/s)

gB/av değeri ve k değerleri için verilen yukarıdaki polinomlar, farklı T_{ort} değerleri için gB/av ve k değerleri tablodan alınıp bu değerlere polinom oturtularak elde edilmiştir. Taşınım katsayısı bulunurken dış yüzey sıcaklığından yararlanılır. Dış yüzey sıcaklık hesabında yine taşınım hesabı gerekmektedir. Bu nedenle excel'in yinelemeli (iteratif) hesap özelliği açılıp formüller yakınsamayla hesaplanmıştır.

3.5.2 Konteyner dış yüzey sıcaklık hesabı

Denklem (3.18) alt ifadelerinin türetiminden yararlanılarak dış yüzey sıcaklık hesabı denklem (3.19)'da elde edilir.

$$J_s \alpha A = hA(T_{DY} - T_D) + UA(T_{DY} - T_I) \quad (3.18a)$$

$$J_s \alpha A = A(h(T_{DY} - T_D) + U(T_{DY} - T_I)) \quad (3.18b)$$

$$J_s \alpha = h(T_{DY} - T_D) + U(T_{DY} - T_I) \quad (3.18c)$$

$$J_s \alpha = hT_{DY} - hT_D + UT_{DY} - UT_I \quad (3.18d)$$

$$J_s \alpha = T_{DY}(h + U) - hT_D - UT_I \quad (3.18e)$$

$$J_s \alpha + hT_D + UT_I = T_{DY}(h + U) \quad (3.18f)$$

$$T_{DY} = \frac{J_s \alpha + hT_D + UT_I}{(h + U)} \quad (3.19)$$

T_I : İç hava sıcaklığı (K)

α : Yüzey absorpsiyon katsayısı

U : Toplam ısı geçiş katsayısı (W/m^2K)

Denklem (3.20)'de toplam ısı geçiş katsayısı verilmiştir(Incropera, 2000).

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{l_\zeta}{\lambda_\zeta} + \frac{ly_1}{\lambda_{y_1}} + \frac{ly_2}{\lambda_{y_2}}} \quad (3.20)$$

h_i : İç hava taşınım katsayısı (W/m^2K)

Toplam ısı geçiş katsayısı hesaplanırken U_D 'den farklı olarak i hava taşınım katsayısı da hesaba katılır.

Alt yüzeyin zeminle arasında 10 cm boşluk bulunmaktadır. Toprak sıcaklığının yıl boyunca çok fazla değişmemesi ve alt yüzeyin gölgede kalması sebebiyle alt yüzeyden olan ısı transferi bu çalışmada ihmal edilmiştir.

3.5.3 Güneş ve atmosferik dış hava sebebiyle konteynere gelen ısıl yük hesabı

$$\dot{Q} = UA(T_{DY} - T_I) \quad (3.21)$$

Güneş ışınlarının geliş açısı her bir yüzey için farklı olduğundan her bir yüzey için ısıl yük hesabı ayrı ayrı yapılıp toplam ısıl yük denklem (3.21)'de ifade edildiği gibi bulunur(Incropera, 2000). Hesap yapılırken U değeri yüzeydeki duvarın yapısına bağlı hesaplanır. Aynı şekilde A değeri de hesap yapılan yüzeyin alanıdır. Q değerinin negatif (-) ıkması durumunda içerden dışarıya ısı transferi vardır. ($T_{DY} < T_I$ durumu)

İç yüzey sıcaklıkları ısıl yük hesabı yapıldıktan sonra denklem (3.22a), (3.22b) ve (3.23) ile ifade edildiği üzere bulunur.

$$\dot{Q} = U_D A (T_{DY} - T_{IY}) \quad (3.22a)$$

$$\frac{\dot{Q}}{U_D A} = (T_{DY} - T_{IY}) \quad (3.22b)$$

$$T_{iy} = T_{dy} - \frac{\dot{Q}}{U_D A} \quad (3.23)$$

T_{iy} : İç yüzey sıcaklığı (K)

3.6 Klima Tüketim Hesapları

$$\dot{Q}_T = \dot{Q} + \dot{Q}_{RF} \quad (3.24)$$

$$\dot{W}_E = \dot{Q}_T / COP \quad (3.25)$$

$\dot{Q}_T$: Konteynerin toplam ısı yükü (W)

$\dot{Q}_{RF}$: RF ekipmanlarından oluşan ısı yük (W)

$\dot{W}_E$: Klimanın elektrik yükü (W)

COP : Performans katsayısı

Konteynerin toplam ısı yükü denklem (3.24)'te ifade edildiği üzere, güneşten ve atmosferik dış havadan gelen ısı yük ile RF ekipmanlarından oluşan ısı yükün toplamına eşittir. RF ekipmanlarından toplam 1.8 kW'lık bir ısı yük oluşmaktadır. Denklem (3.25)'te klimanın elektrik yükü ifade edilmiştir. Klimanın elektrik yükünün değişiminin zaman integrali ile elde edilen enerji sarfiyatının elektriğin birim fiyatı (TL/kWh) çarpımı ile klimanın tüketim miktarı TL cinsinden bulunur. COP değeri A sınıfı klimalar için standart koşullarda ortalama 3 alınabilir. Turkcell'in kullandığı klimaların COP değeri de 3'e yakındır. Bununla birlikte gerçek değer dış ve iç hava sıcaklıklarına bağlı olarak değişmektedir. COP değerini sabit almak yerine dış ve iç hava sıcaklığına bağlı olarak değişken almak için İTÜ Enerji Enstitüsü'nde yapılan klima testlerinden elde edilen veriler kullanılmıştır. Bu klima testlerinde konteynerlerde de yaygın olarak kullanılan 18000 BTU soğutma kapasiteli klima kullanılmıştır. İç hava sıcaklığı 24 °C olarak belirlenmiştir. Klima testlerinin sonucundan yola çıkarak yapılan ortak çalışmada dış hava sıcaklığı ve ısı yük toplamına bağlı değişken COP hesabı Çizelge 3.1'den yararlanılarak bulunur. Çizelge 3.2'de 1,6 kW'lık ısı yük seçeneği için COP değerleri farklı dış hava sıcaklıkları için gösterilmiştir.

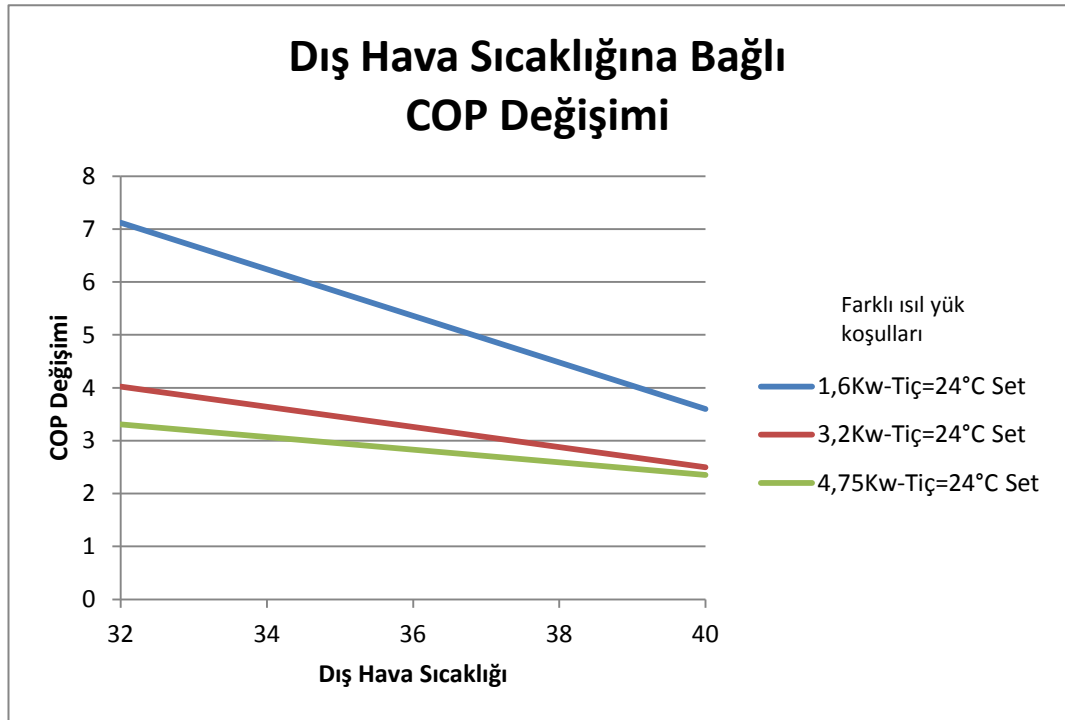
Çizelge 3.1 : Değişken COP hesabındaki katsayı tablosu ($T_i = 24\text{ °C}$ için)

$COP = A + B \cdot T_D$		
$\dot{Q}_T$ (kW)	A	B
1,6	21,2	-0,44
3,2	10,1	-0,19
4,75	7,15	-0,12

Çizelge 3.2 : Dış hava sıcaklığına bağlı COP değeri ($\dot{Q}_T = 1,6\text{ kW}$, $T_i = 24\text{ °C}$ için)

T_d	COP
32	7,1
33	6,7
34	6,2
35	5,8
36	5,4
37	4,9
38	4,5
39	4,0
40	3,6

Çizelge (3.1) ve (3.2)'de verilen değişken COP hesabı Şekil 3.3'te grafiklerle gösterilmiştir.



Şekil 3.3 : Dış hava sıcaklığına bağlı COP değişimi.

3.7 Hesaplanan Büyüklükler ve Grafikler

3.7.1 Hesaplanan büyüklükler

Elde edilen formül ve hesaplamaları özetleyecek olursak:

- Konum ve zamana bağlı; güneş pozisyonu, yüzeye ulaşan güneş ışıının yoğunluğu
- Atmosferik dış hava sıcaklığı ve eldeki güneş ışıının hesabına bağlı; konteyner yüzeyindeki ısı transferi hesabı, dış ısı girdiler, iç hava sıcaklığı, iç ve dış yüzey sıcaklıkları ve klimanın güç tüketiminin anlık değerleri zamana bağlı olarak

hesaplanır. Bu iki ana hesabı yaparken ek parametreler kullanılır. Deniz seviyesinden yükseklik, turbidite faktörü, yüzey azimut açısı, malzeme ısı iletkenlik değerleri, yüzey absorpsiyon katsayısı bunlardan birkaçıdır

3.7.2 Teorik modelle elde edilen grafikler

Teorik model ile deneysel uygulamanın daha sonra karşılaştırılabilmesi için 28 Haziran günü değerleri seçilmiş, hesaplar ve **Şekil 3.4, 3.5, 3.6, 3.7**'de gösterilen grafikler buna göre hazırlanmıştır.

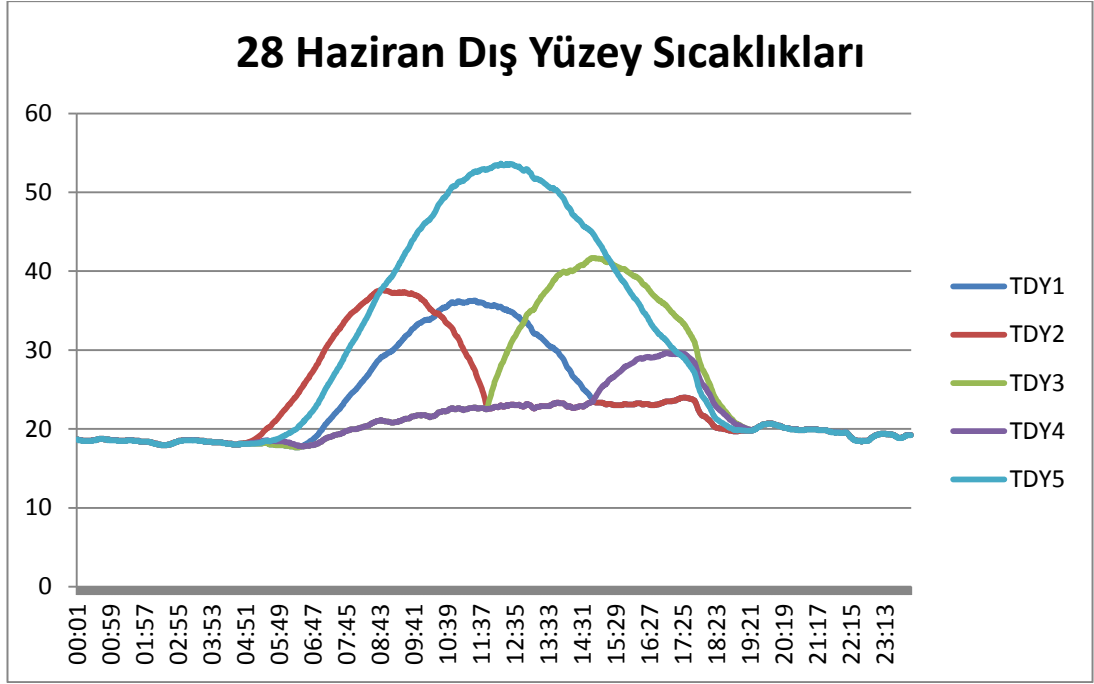
TDY1, TİY1: Konteyner ön dış ve iç yüzey

TDY2, TİY2: Konteyner sağ dış ve iç yüzey

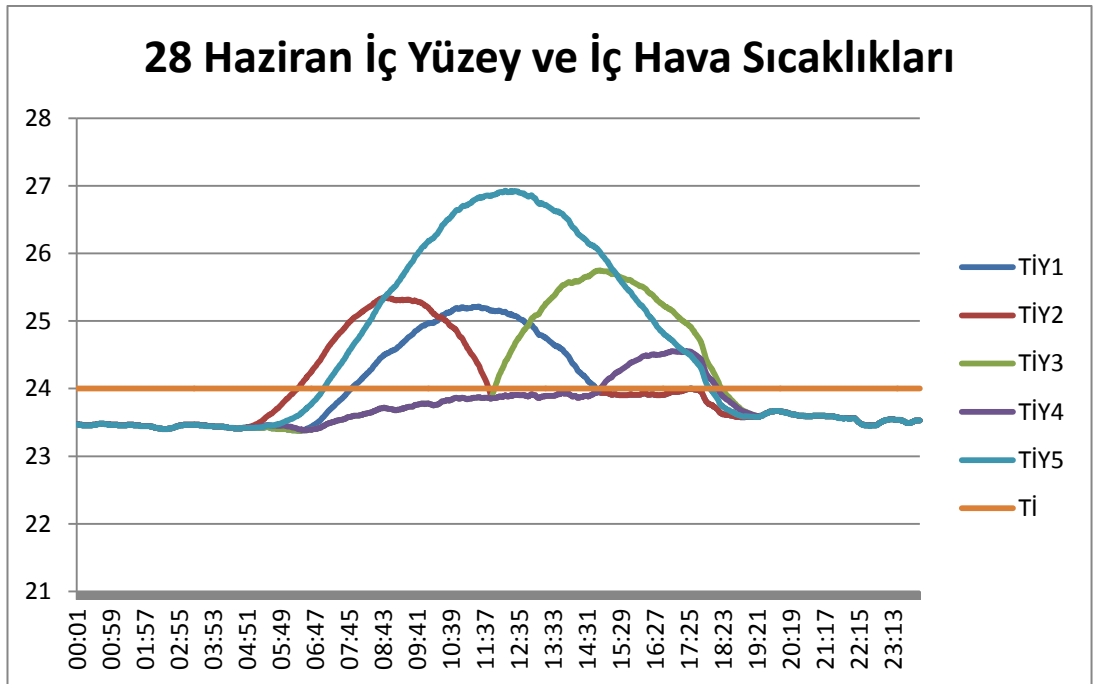
TDY3, TİY3: Konteyner sol dış ve iç yüzey

TDY4, TİY4: Konteyner arka dış ve iç yüzey

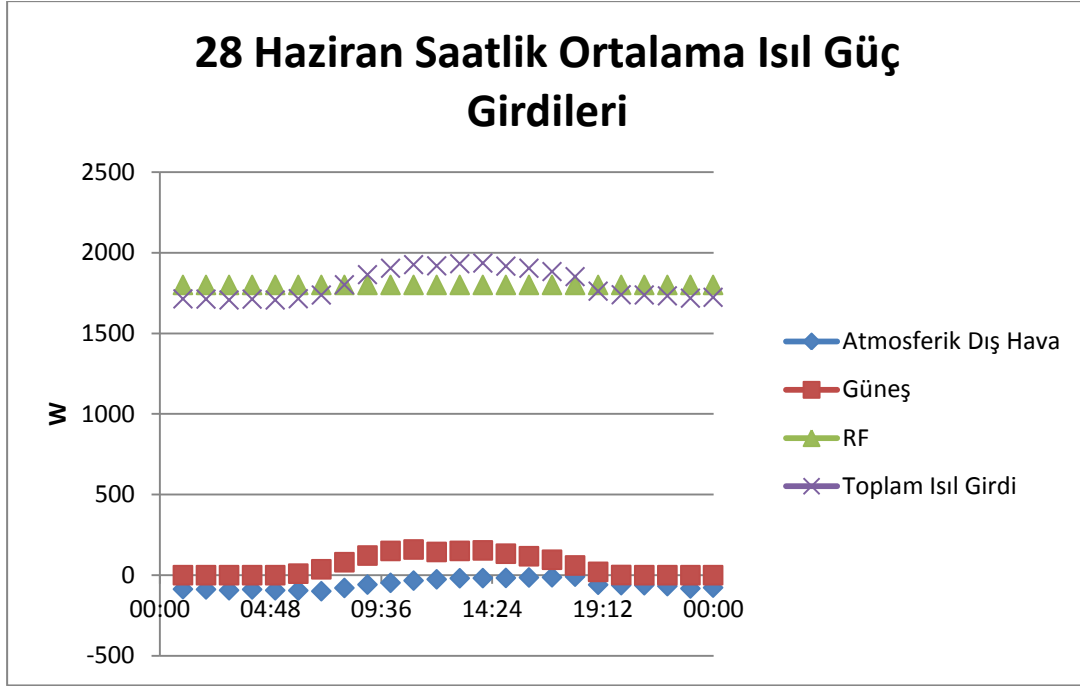
TDY5, TİY5: Konteyner üst dış ve iç yüzey



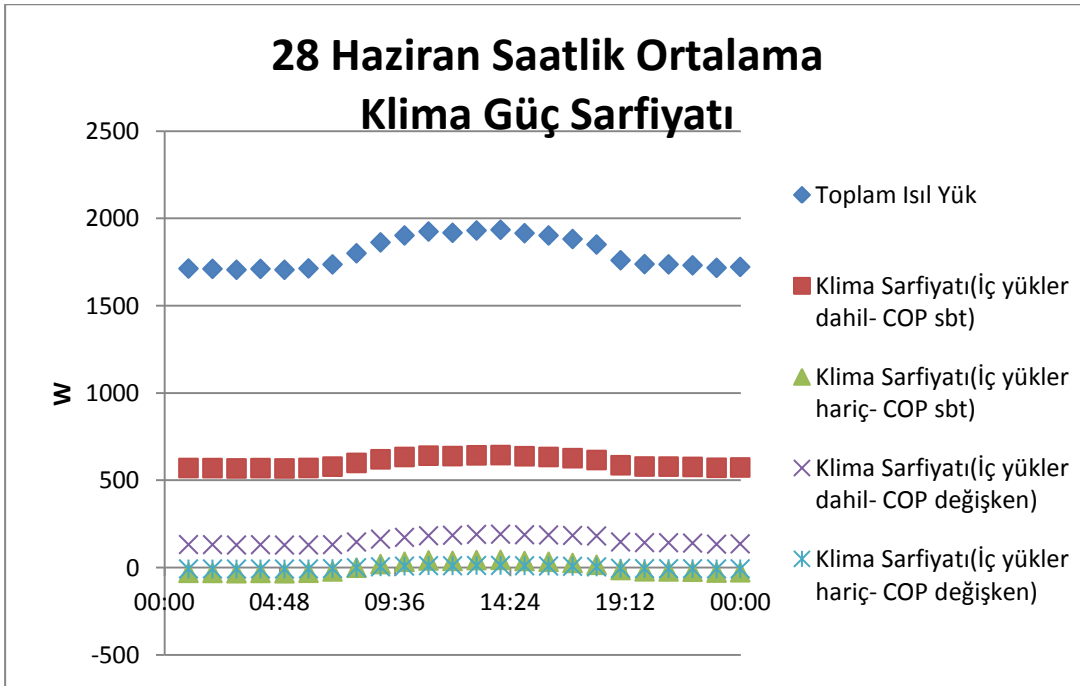
Şekil 3.4 : Dış yüzey sıcaklıkları.



Şekil 3.5 : İç yüzey ve iç hava sıcaklıkları.



Şekil 3.6 : Saatlik ortalama ısı güç girdileri.



Şekil 3.7 : Saatlik ortalama klima güç sarfiyatı.

4. DENEYSEL UYGULAMA

4.1 Uygulama Adımları ve Deney Düzeneği

4.1.1 Pt100

Termorezistanlar (burada Pt100 elemanı) sıcaklıkla direnci değişen elemanlardır. Sıcaklığa bağlı direnç değişimleri sayesinde ohm cinsinden okunan direnç değerleri üzerinden sıcaklık bilgisi verirler. Termorezistanslar -200 °C derece ile 800 °C derece arasında çalışabilirler, bu aralıkta oldukça lineer davranırlar ve termorezistans ile cihaz arasındaki bağlantılar standart bakır kablolar ile yapılabilir. Fakat proses şartları her zaman buna müsade etmediği için ortam şartlarına uygun özel blendajlı kablolar ile bağlanırlar, mesafe uzadıķa kablonun direnci termorezistansa ilave olacağından belli mesafelerin üzerinde üç telli veya dört telli olarak imal edilirler ve lme cihazlarına o şekilde bağlanırlar. Bu ilave teller yardımıyla telin getirdiği ilave direnç değeri cihaz tarafından okunarak kablo uzunluğuna bağlı değişimler kompanze edilir.

Deneysel uygulamamızda **şekil 4.1**'de gösterilen Pt100 tercih etmemizin sebebi termik çiftlere göre daha hassas ölüm yapabilmesi, ilgilendiğimiz sıcaklık aralığındaki yüksek doğrusal tabiatları ve sıcaklık hata aralığının daha düşük olmasıdır.



şekil 4.1 : Dış yüzeye sabitlenmiş Pt100.

4.1.2 Datalogger ve arayüz

Datalogger olarak **Şekil 4.2**'de gösterilen E-680 Serisi Elimko marka kayıt cihazı kullanılmıştır. E-680 Serisi üniversal girişli-gelişmiş tarayıcı ve alarm cihazları, 32 girişe kadar değişik noktalardan alınan bilgilerin gösterimi, bir bilgisayara bilgilerin aktarımı ve kaydına olanak verir. Bu cihaz, yeni nesil mikrokontrolör kullanılarak tasarlanmış, 96 x 192 mm ebatlarında, üniversal giriş ve çıkışların kullanıcı tarafından kolaylıkla programlanabildiği endüstriyel bir cihazdır.



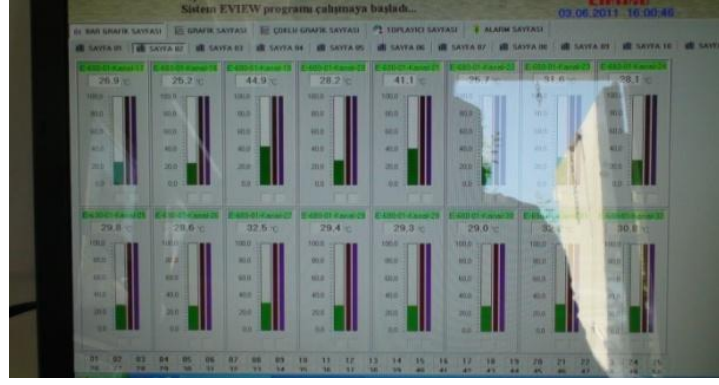
Şekil 4.2 : Datalogger.

Bu cihazla Pt100'ler kullanıldığında sıcaklık değerlerini $\pm \% 0.5$ hata payıyla okumak mümkündür. **Şekil 4.3**'te gösterildiği gibi cihaz, seçilen kanal değerlerinin cihaz ile aynı anda bilgisayar ekranından izlenip programlanabilmesine olanak sağlar. Ölçülen değerler bilgisayarın hafızasına kaydedilir, dahili hafızası yoktur. Bilgisayar ile iletişimini RS485 MODBUS protokolü ile sağlar.



Şekil 4.3 : Genel görünüm.

Şekil 4.4'te gösterilen EVIEW programı datalogger'ın bilgisayardaki arayüz yazılımıdır. Bağlı kanalların, bar grafik gösterimiyle sıcaklık değerlerini anlık okumak mümkündür. İstenilen zaman aralığında kayıt imkanı vermektedir ve deneyde 10 dk'lık veri okuma sıklığı seçilmiştir.



Şekil 4.4 : EVIEW programı sıcaklık bar grafik sayfası.

4.1.3 Köhler sayac

Deneysel uygulamada klimaların elektrik tüketimini ölçme amaçlı, sadece klimaya bağlamak üzere Şekil 4.5'te gösterilen Köhler marka AEL.TF.12 modelinde trifaze aktif sayaç kullanılmıştır. Sayaçlarda standart olarak RS485 çıkışı vardır. Köhler sayaç okuma programı ile programın belirlediği bilgiler anlık okunabilir. Sayaç haberleşmesi IEC 62056-21 standardına göre gerçekleşmektedir. Bu haberleşme protokolüne göre belli aralıklarla otomatik okunması ve alınan sayaç değerlerinin kaydedilmesi için bir yazılım geliştirilmiştir.



Şekil 4.5 : Köhler sayac.

4.1.4 Zaman ayarlı priz ve ısıtıcılar

Deneysel uygulamada Şekil 4.6'da gösterilen herbiri 2 kW'lık iki ısıtıcı kullanılmıştır. Isıtıcılar 1 kW'lık güç seçeneğinde çalıştırılmıştır. Isıtıcıların konumu, gerçeğe yakın olması açısından biri rectifier ünitesinin yerinde diğeri RF ekipmanların yanında, ısı dağılımı homojen olması için de yerden belli bir yükseklikte eksenal hareket yapacak şekilde ayarlanmıştır. Isıtıcıların birinin gündüz saat 10'da çalışmaya başlayıp gece 12'de durması için Şekil 4.7'de gösterilen zaman ayarlı priz kullanılmıştır. Zaman ayarlı priz 8 farklı on/off ayarını 1 dakikalık aralıklarla

programlayabilir. 1 haftalık günlük program ayarlanabilir. Deneysel uygulamamızda haftanın her günü aynı saatlerde çalışıp-kapanması için ayarlanmıştır.



Şekil 4.6 : 2 kW’lık ısıtıcılar(biri aksel hareketli).



Şekil 4.7 : Zaman ayarlı priz.

4.1.5 Klimalar

Deneysel uygulamada **Şekil 4.8**’de gösterilen LG-BEKO marka 7780 D modelinde invertörlü klimalar kullanılmıştır. Klimanın etiketinde yer alan soğutma kapasitesi 18000 BTU/h ve COP değeri 3.2’dir. Deneylerde klimalar, konteyner ideal sıcaklığı olan 24 °C’e set edilmiştir.



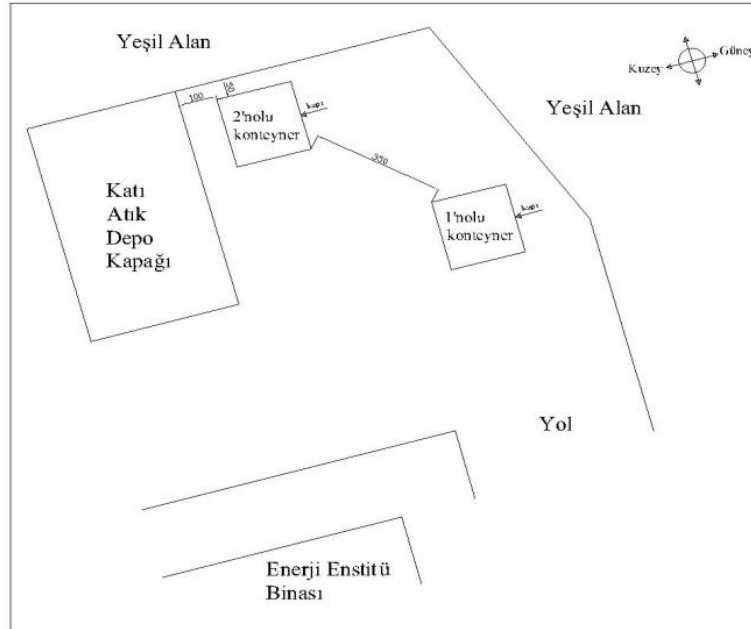
Şekil 4.8 : Klima.

4.1.6 Konteyner yerleşimi

Deneysel uygulamada konteynerler İTÜ Enerji Enstitüsü'nde konumlandırılmıştır. **Şekil 4.9**'da gösterilen konteyner yerleşimi için **Şekil 4.10**'da uygun alan çizilip, Güneş'in gün içerisindeki geliş açılarına göre ve enstitü bahçesindeki ağaçların ve konteynerlerin birbirlerini gölgelemesine engel olacak şekilde konteynerlerin yerleşimi yapılmıştır.



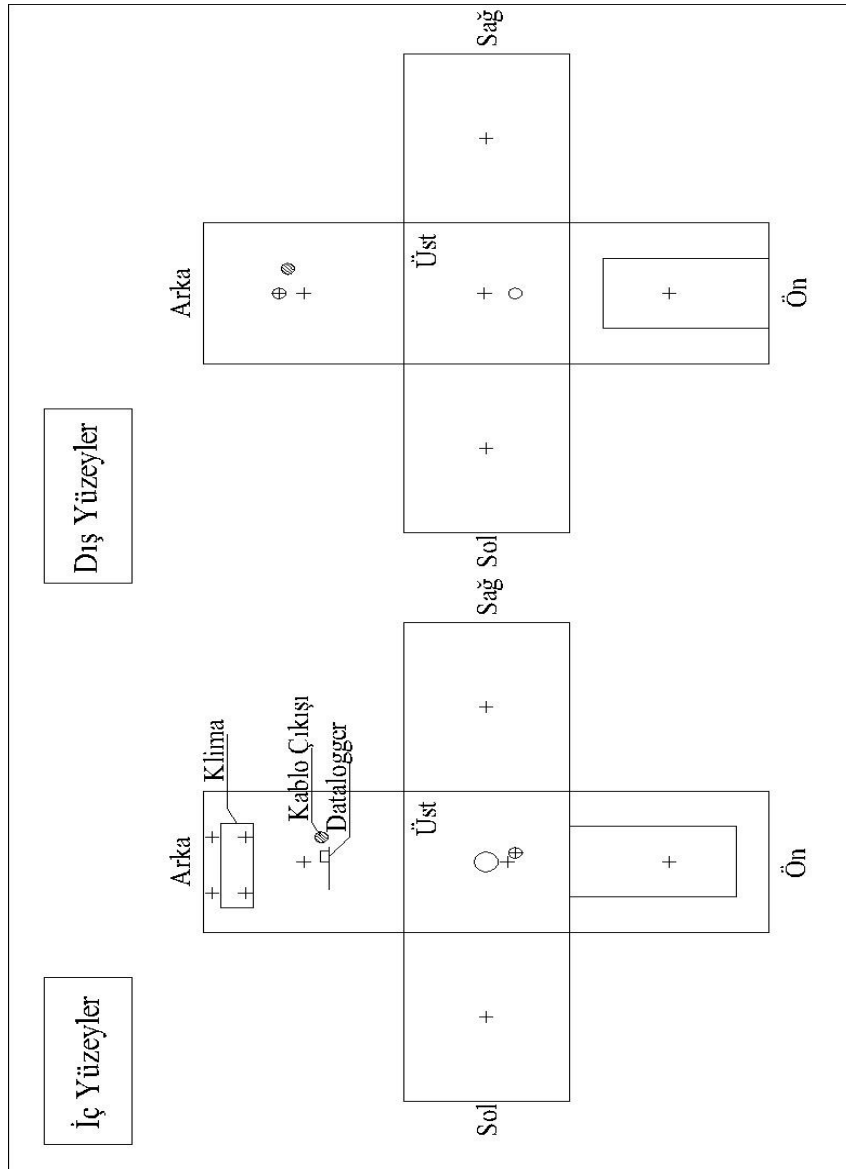
Şekil 4.9 : Konteynerlerin enstitü bahçesinden fotoğrafı.



Şekil 4.10 : Konteynerlerin yerleşim planı.

4.1.7 Pt100 yerleşimi

Metraj keşfi yapılarak sipariş edilen farklı uzunluktaki 32 adet Pt100'ün **Şekil 4.11'de** öngörülen noktalara yerleşimi yapılmıştır. Her iki konteynere 5 adet dış yüzey, 5 adet iç yüzey, 1 adet iç hava, 1 adet dış hava, 4 adet klima iç ünite giriş-çıkış hava sıcaklığı olmak üzere **Şekil 4.12- 4.17'de** gösterilen toplamda 16'şar adet Pt100 yerleştirilmiştir. Pt100'lerin rekor koruma kılıfının yüzeyle çizgisel teması olduğundan Pt100'lere ısı pastası uygulanarak daha hassas ölçüm için yüzey teması arttırılmıştır. Pt100'lerin kalibrasyonu satıcı firma tarafından yapılmıştır. Yine de ölçümlerin güvenilirliği açısından Lutron marka termometre ile Pt100'lerin ölçtüğü değerler karşılaştırılmış ve doğrulanmıştır.



Şekil 4.11 : Pt100 yerleşim planı.



Şekil 4.12 : Ön ve sağ dış yüzey.



Şekil 4.13 : Sol dış yüzey ve arka dış yüzey – dış hava.



Şekil 4.14 : Üst dış yüzey ve ön iç yüzey.



Şekil 4.15 : Sağ ve sol iç yüzey.



Şekil 4.16 : Arka ve üst iç yüzey.



Şekil 4.17 : İç hava ve klima giriş-çıkış.

4.1.8 Isı kapasitörü olarak aküler

Deneyisel uygulamada konteynerlerin içerisindeki sıcaklık dağılımının gerçeğe yakın olması açısından her iki konteynere kullanılsa da aküler ısı kapasitesi oluşturmaları için yerleştirilmiştir. **Şekil 4.18**'de gösterilen bu aküler ısı kapasitörü olarak görev yapıp, konteyner içindeki havayla ısı alışverişini yaparak konteynerin toplam ısı kapasitesine katkı sağlarlar ve gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edilmesine olanak sağlarlar.



Şekil 4.18 : Akü rafı (3x4, 12 adet 6 V 155 Ah boş akü).

4.1.9 Konteynerlerin eş koşul kontrolü ve yüksüz klima testi

Deneysel uygulamanın hazırlık aşamasında konteynerlerin eş koşulda test edilmesi adına **Şekil 4.19**'da gösterilen ısı kaçak kontrolü termal kamera ile yapılmıştır. Gerekli görülen yerlerde **Şekil 4.20**'de gösterilen poliüretan köpük uygulaması ile yalıtım sağlanmıştır.



Şekil 4.19 : Termal kamera ile ısı kaçak testi.



Şekil 4.20 : Köpük uygulama.

Deneysel öncesi iki eş konteynere dışarıdan bir ısı yük uygulamadan **Çizelge 4.1**'de gösterilen klima testi yapılmıştır. Klimaların elektrik tüketim değerlerinin birbirinden farkı %1 ve altında çıkmıştır.

Çizelge 4.1 : Yüksüz klima testi.

Sayaçtan Okunan Değerler (klima 24 °C set edildi)			29 Nisan 2011	Tüketim (kWh)	Tüketim (kWh)	Fark (kWh)	Yüzde Fark
1 no'lu sayaç(kWh)	2 no'lu sayaç(kWh)	Sayaç Saati					
1,015	0,529	11:10					
1,533	1,054	12:43					
2,029	1,552	15:41	Bitiş	0,496	0,498	0,002	%0.4

4.1.10 Supertherm boya Uygulaması

Deneysel uygulamada ısı modellemenin gerçeğe yakınlığının gözlemlenmesinin yanında enerji verimli bir çözümü test etmek amacıyla iki konteynerden biri Supertherm boyasıyla boyanıp karşılaştırmalı testler yapılmıştır. Supertherm, Güneş'in kızılötesi ışınlarını yansıtma özelliği gösteren bir boyadır. **Şekil 4.22-4.24'**te gösterilen Supertherm uygulaması öncesi **Şekil 4.21'**de paslı bölgelere rustgrip boyası uygulanmıştır. Uygulama esnasında ve sonrasında boya kalınlıkları belli zaman aralıklarında ölçülmüştür.



Şekil 4.21 : Paslı üst yüzey ve rustgrip uygulaması.



Şekil 4.22 : Supertherm uygulaması.



Şekil 4.23 : Sol ve ön yüzey.



Şekil 4.24 : Sağ ve arka yüzey.

Yapılan boya kalınlığı ölçümüne göre; paslı yüzeylere 20-25 μm rustgrip ve her bir yüzeye 155-180 μm arasında supertherm uygulanmıştır.

4.2 Deneyisel Uygulamada Yapılan Testler

Deneyisel uygulamada yapılan test durumları **Çizelge 4.2**'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2 : Test durumları.

Durum	Haziran- Temmuz Deneyleri
D-1:	Klima kapalı – Isıtıcı kapalı
D-2:	Klima kapalı – Isıtıcı açık
D-3:	Klima açık – Isıtıcı açık
D-4:	Klima kesintisi – Isıtıcı açık

4.2.1 Deneyisel uygulamada durum açıklamaları:

Durum -1 “Klima kapalı – Isıtıcı kapalı deneyi”

Uzun süreli elektrik kesintilerinde klima kapanmasının yanısıra aküler de boşalır ve RF ekipmanları durur. Bunun dışında elektrik kesintisi sonrası klima durması nedeniyle iç ortam sıcaklığının aşırı yükselmesi durumunda da RF ekipmanları da kapanır. Dolayısıyla bu durum uzun süreli elektrik kesintisine karşılık gelmektedir. Klima ve ısıtıcılar kapalı iken konteynerlerin dış-iç yüzey sıcaklıkları, iç ve dış hava sıcaklığı ölçülmüştür. Burada Güneş ve atmosferik dış hava sebebiyle konteynerde oluşan ısı yük hesabı amaçlanmıştır. Bu çalışma kapsamında yeni bir kavram olarak tanımlanan akülerin aşırı sıcaklık maruziyeti hesaplanıp iki boyanın farkı bu büyüklükteki yüzde iyileşme olarak verilmiştir. Bu durumun değerlendirilmesindeki temel amaç akülerin yüksek sıcaklığa maruz kalma miktarlarında kullanılan yüzey boyasının etkisinin incelenmesidir. Yüksek sıcaklık maruziyeti akülerin ömrünü hızla azalttığından ekonomik bir kayba ayrıca zaman ve emek kaybına da yol açmaktadır.

Durum -2 “Klima kapalı – Isıtıcı açık deneyi”

Bu durum kısa süreli elektrik kesintisi halinde RF ekipmanları çalışırken klimanın kapandığı duruma karşılık gelmektedir. Klima arıza durumu da yine bu durum ile temsil edilmektedir. Klima kapalı iken 2 kW’lık ısıtıcı açılmış ve konteynerlerin dış-iç yüzey sıcaklıkları, iç ve dış hava sıcaklığı ölçülmüştür. Deneylerde iç hava sıcaklığının 70 °C değerlerine kadar yükseldiği görülmüştür. Isıtıcıların oluşturduğu ısı yük gözlemlenmiş ve dış yüzey sıcaklığına bağlı ısı atımı karşılaştırılmıştır. Akülerin aşırı sıcaklık maruziyeti hesaplanıp Durum-1’deki sebeplerle yüzde iyileşme verilmiştir.

Durum -3 “Klima açık – Isıtıcı açık deneyi”

Bu durum olağan çalışma koşullarına karşılık gelmektedir. Klima 24 °C set edilmiş ve 2 kW’lık ısıtıcı açık iken konteynerlerin dış-iç yüzey sıcaklıkları, iç ve dış hava sıcaklığı ölçülmüştür. Güneş ve atmosferik dış hava sebebiyle konteynerde oluşan ısı yük yanında ısıtıcılar sebebiyle ısı yük oluşmaktadır. Buna bağlı klima elektrik tüketimleri ölçülmüştür. Akülerin aşırı sıcaklık maruziyeti hesaplanıp diğer durumlardaki gibi yüzde iyileşme olarak verilmiştir.

Durum -4 “Klima kesintisi – Isıtıcı açık deneyi”

Bu durum, olağan çalışma konumundan oldukça kısa süreli bir elektrik kesintisi durumuna geçişi temsil etmektedir. Klima 24 °C set edilmiş ve 2 kW’lık ısıtıcı açık iken klima kesintisi tasarlanmıştır. Konteynerlerin dış-iç yüzey sıcaklıkları, iç ve dış hava sıcaklığı ölçülmüştür. İç ortam sıcaklığının ne kadar sürede 45 °C sıcaklığa ulaşacağı gözlemlenmiştir. Daha sonra ısıtıcılar da kapatılarak sistem kesintisi tasarlanmıştır. Akülerin aşırı sıcaklık maruziyeti hesaplanıp diğer durumlardaki gibi yüzde iyileşme olarak verilmiştir.

4.3 Ölçümler ve Rapor Özetleri

4.3.1 Aşırı sıcaklık maruziyeti - ASM (excess temperature exposure - ETE)

Deneysel uygulama sonrasında yapılan incelemede iki konteyner arasında iç hava sıcaklık farkları tespit edilmiştir. Konteyner içindeki hava sıcaklığı çalışma koşulları açısından en çok aküleri etkilemektedir. Akülerin ideal çalışma sıcaklığı 25 °C olarak alınmıştır. Buna göre aküler 25 °C’nin üstünde bir sıcaklıkta bulunuyorsa olağan sıcaklığın üzerindeki sıcaklıklara maruz kalma miktarını tanımlamak üzere bu tez çalışmasında “Aşırı Sıcaklık Maruziyeti” kavramı ve büyüklüğü tanımlanmıştır. Kısaca ASM olarak isimlendirilen ve birimi [°Ch] veya [Kh] olan bu büyüklük; denklem (4.1)’de ifade edildiği gibi konteynerlerin 25 °C’nin üstünde kalan **Şekil 4.25**’te gösterilen sıcaklık-zaman grafiğinin integrali olarak tanımlanır. İki konteyner arasında supertherm boyalı olanın yarattığı iyileşme, ASM değerlerinin oranı olarak denklem (4.2)’de ifade edildiği gibi “yüzde iyileşme” değeri şeklinde verilir.

$$ASM = \int_{ti}^{ts} (T_i - 25^\circ C)_{T_i \geq 25} dt \quad (4.1)$$

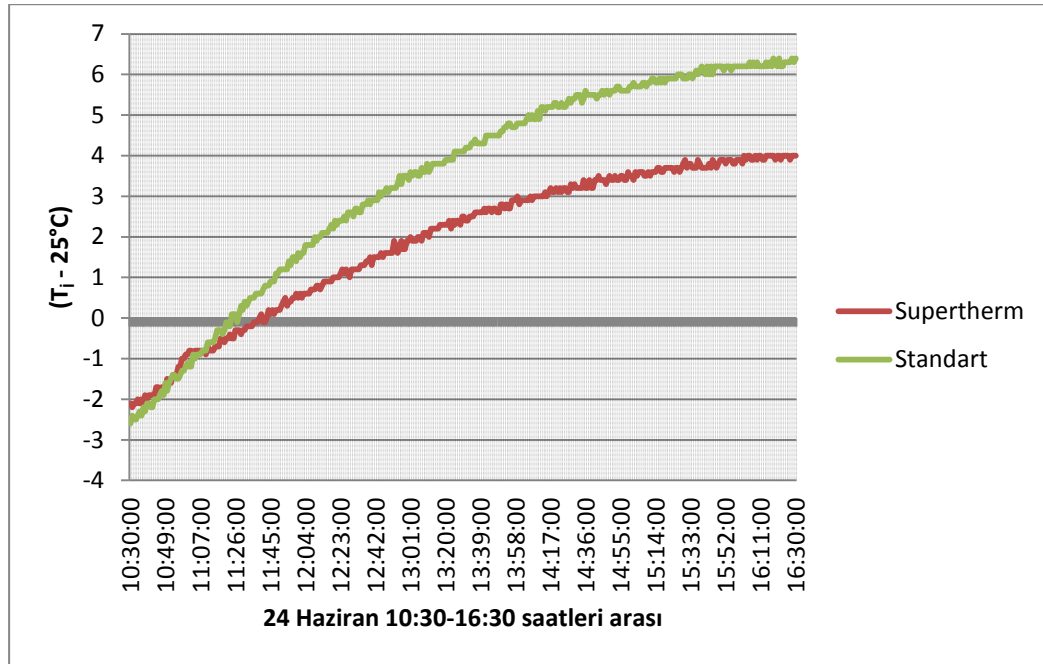
$$\%İYİLEŞME = \left[1 - \frac{\left[\int_{ti}^{ts} (T_i - 25^\circ C)_{T_i \geq 25} dt \right]_{SP}}{\left[\int_{ti}^{ts} (T_i - 25^\circ C)_{T_i \geq 25} dt \right]_{ST}} \right] \times 100 \quad (4.2)$$

ti ve ts: İntegral zaman aralığı (başlangıç-bitiş)

T_i : İç hava sıcaklığı

SP: Supertherm uygulanmış konteyner

ST: Standart boyalı konteyner



Şekil 4.25 : Relatif sıcaklık – zaman grafiği.

4.3.2 Tablo açıklamaları

Çizelge 4.3-4.12’de farklı durumların tablolarında yüzey sıcaklık farkları, ısı transferi ve ASM sütunu kullanılmıştır. İki konteyner arasında dış yüzey sıcaklık farkları ve iç ortam sıcaklığının ortalama, maksimum ve minimum değerleri, güneşin etkili olduğu saatler olan 10:30-16:30 ile tüm gün zaman aralığı için ayrı ayrı verilmiştir. Isı transferi sütununda dışarıdan içeri ve içeriden dışarı olan günlük toplam ısı transferi ayrı ayrı hesabı yapıp supertherm uygulanmış konteynerin

standart boyalı konteynere göre yüzde iyileşme değeri 10:30-16:30 ve günün geri kalan zaman aralığında verilmiştir. ASM sütununda supertherm uygulanmış konteynerin standart boyalı konteynere göre yüzde iyileşme olarak değeri verilmiştir. Tablolarda toplam ısı transferinde iyileşme sütununda bulunan dıştan içeri olan ısı transferi ve içten dışarı olan ısı transferini temsil eden alt sütunlarda, pozitif yüzde değerleri supertherm uygulanmış kabinin standart boyalı kabine göre iyileşme değerleridir. Bu çerçevede pozitif bir % değer, dıştan içeri toplam ısı transferinde azalma, içten dışarı olan ısı transferinde ise artış anlamına gelmektedir. Negatif değerlerde tam tersi durum söz konusudur. Tablolarda görüleceği üzere ısı transferi ve ASM sütunlarında bazı yüzde değerlerinin çok yüksek çıkmasının sebebi yüzde alınırken paydada yer alan standart konteyner değerlerinin o durum için sıfıra çok yakın değerlerde olmasıdır. Bu nedenle tablodan sonra bir başka tabloda ASM ve ısı transfer değerlerinin % değerleri yerine yorumların daha kolay ve sağlıklı yapılabilmesi için sayısal değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.3 : Durum -1 klima kapalı – ısıtıcı kapalı deneyi.

TARİH	ZAMAN		İki Konteyner Arasında Sıcaklık Farkları [Standart]-[Supertherm]						Toplam Isı Transferinde % iyileşme [1- SP/S]		AKÜ [1- SP/S]
			Ön	Sağ	Sol	Arka	Üst	İç	dıştan içeri (+)	içten dışarı (-)	
08.06.2011	10:30-16:30	Ort.	6,6	2,4	5,2	1,7	10,4	5,2	39%	-91%	93%
		Maks.	9,1	7,2	11,1	2,7	12,9	6,9			
		Min.	2,8	-3,0	0,6	0,1	6,4	2,1			
	Tüm Gün	Ort.	1,7	0,4	1,5	1,0	3,2	4,1	-1%	-12%	89%
		Maks.	9,1	7,2	11,2	6,1	12,9	7,0			
		Min.	-2,8	-5,7	-7,1	-0,6	-6,9	1,1			
09.06.2011	10:30-12:16	Ort.	5,7	4,7	1,8	1,9	7,5	2,7	50%	0%	64%
		Maks.	7,8	6,8	2,4	2,7	9,3	4,4			
		Min.	3,4	-2,8	1,3	1,1	5,4	0,5			
10.06.2011	10:30-16:30	Ort.	3,8	0,8	4,1	1,7	5,5	2,1	42%	54%	58%
		Maks.	7,2	3,1	8,9	2,9	10,7	3,3			
		Min.	0,9	-3,8	0,5	0,1	1,3	0,9			
	Tüm Gün	Ort.	1,3	0,0	1,1	0,7	-1,3	0,6	91%	24%	38%
		Maks.	7,2	3,1	8,9	3,0	10,7	3,3			
		Min.	-0,7	-3,8	-1,1	-0,7	-5,7	-1,0			

Çizelge 4.3 (devam) : Durum -1 klima kapalı – ısıtıcı kapalı deneyi.

TARİH	ZAMAN		İki Konteyner Arasında Sıcaklık Farkları [Standart]-[Supertherm]						Toplam Isı Transferinde % iyileşme [1- SP/S]		AKÜ [1- SP/S]
			Ön	Sağ	Sol	Arka	Üst	İç	dıştan içeri (+)	içten dışarı (-)	ASM
11.06.2011	10:30-16:30	Ort.	2,3	0,5	1,3	1,7	-0,5	0,4	97%	134%	0%
		Maks.	5,1	1,8	4,1	3,8	4,6	1,0			
		Min.	0,4	-0,7	-0,8	-0,2	-3,6	-0,1			
	Tüm Gün	Ort.	0,8	-0,2	0,3	0,7	-2,6	-0,3	78%	69%	0%
		Maks.	5,1	1,8	4,1	4,0	4,6	1,0			
		Min.	-0,9	-2,3	-0,9	-1,7	-5,5	-1,3			
12.06.2011	10:30-16:30	Ort.	5,2	1,3	4,1	2,8	4,2	1,4	72%	443%	84%
		Maks.	8,5	5,2	10,1	4,4	10,7	3,0			
		Min.	1,6	-0,7	0,9	1,4	-1,7	-0,2			
	Tüm Gün	Ort.	1,5	0,2	1,2	1,4	-1,8	0,3	52%	39%	81%
		Maks.	8,5	5,2	10,1	6,6	10,7	3,0			
		Min.	-1,7	-5,6	-2,3	-0,3	-11,7	-1,2			
13.06.2011	10:30-16:30	Ort.	5,3	1,6	3,7	2,6	6,6	1,9	54%	351%	0%
		Maks.	8,9	4,7	9,7	4,4	12,5	3,7			
		Min.	0,5	0,0	0,0	0,9	-1,4	-1,1			
	Tüm Gün	Ort.	1,6	0,3	1,2	1,1	2,4	1,4	25%	-5%	0%
		Maks.	8,9	4,7	10,0	5,2	12,5	3,7			
		Min.	-1,9	-5,5	-1,8	-0,6	-4,3	-1,1			
14.06.2011	10:30-16:30	Ort.	3,1	1,0	2,3	2,3	5,0	1,6	53%	9%	0%
		Maks.	7,8	6,0	9,4	4,8	16,1	2,6			
		Min.	-0,2	-0,8	-0,4	0,3	0,2	0,7			
	Tüm Gün	Ort.	0,8	0,2	0,9	1,1	-1,3	0,5	38%	36%	0%
		Maks.	7,8	8,4	9,4	8,9	16,1	2,6			
		Min.	-3,7	-7,0	-5,1	-0,5	-15,4	-1,1			
15.06.2011	10:30-16:30	Ort.	5,0	1,1	4,7	1,2	6,6	1,7	53%	-6%	56%
		Maks.	8,0	5,9	10,0	2,3	9,0	2,9			
		Min.	1,0	-6,5	0,8	-1,0	3,4	-0,7			
	Tüm Gün	Ort.	1,4	0,2	1,2	0,6	-0,6	0,3	95%	37%	48%
		Maks.	8,0	5,9	10,0	7,4	9,0	2,9			
		Min.	-0,6	-6,5	-7,6	-1,0	-5,4	-1,3			

Çizelge 4.3 (devam) : Durum -1 klima kapalı – ısıtıcı kapalı deneyi.

TARİH	ZAMAN		İki Konteyner Arasında Sıcaklık Farkları [Standart]-[Supertherm]						Toplam Isı Transferinde % iyileşme [1- SP/S]		AKÜ [1- SP/S]
			Ön	Sağ	Sol	Arka	Üst	İç	dıştan içeri(+)	İçten dışarı (-)	ASM
16.06.2011	10:30-16:30	Ort.	0,7	-0,2	0,9	1,1	-1,6	-0,4	0%	220%	0%
		Maks.	1,6	0,5	2,2	3,0	-0,1	-0,1			
		Min.	-0,3	-0,8	-0,3	0,4	-2,6	-0,8			
	Tüm Gün	Ort.	0,1	-0,4	0,4	0,8	-3,4	-0,8	31%	100%	0%
		Maks.	3,8	4,4	4,3	4,2	3,5	-0,1			
		Min.	-2,5	-6,1	-0,9	-0,5	-12	-1,5			
17.06.2011	10:30-16:30	Ort.	5,5	1,1	4,8	2,1	6,2	1,6	57%	4%	48%
		Maks.	8,8	5,1	10,3	3,8	10,3	2,9			
		Min.	1,9	-3,7	0,7	-0,5	1,1	-0,8			
	Tüm Gün	Ort.	1,4	0,1	1,4	1,0	-1,1	0,3	49%	29%	43%
		Maks.	8,8	6,6	10,3	7,1	10,3	2,9			
		Min.	-2,9	-5,6	-7,0	-0,6	-10,2	-1,4			
18.06.2011	10:30-16:30	Ort.	4,9	0,9	4,5	1,1	6,3	1,4	56%	-13%	38%
		Maks.	9,0	4,8	10,0	2,2	10,0	2,6			
		Min.	0,7	-4,7	0,4	-1,0	2,8	-0,9			
	Tüm Gün	Ort.	1,1	-0,2	1,3	0,7	-1,4	0,2	21%	26%	32%
		Maks.	9,0	6,4	10,2	7,5	10,0	2,6			
		Min.	-3,0	-6,5	-9,1	-1,0	-15,4	-1,5			
19.06.2011	10:30-16:30	Ort.	5,6	0,9	5,0	1,3	6,9	1,5	56%	-13%	34%
		Maks.	9,4	5,7	10,3	2,5	10,8	2,9			
		Min.	1,6	-5,8	0,8	-0,9	1,9	-1,3			
	Tüm Gün	Ort.	1,3	-0,1	1,3	0,7	-1,2	0,3	26%	21%	27%
		Maks.	9,4	6,0	10,6	7,9	10,8	2,9			
		Min.	-3,3	-6,7	-8,5	-1,0	-13,1	-1,4			
20.06.2011	10:30-16:30	Ort.	4,1	1,2	1,7	1,5	1,6	0,5	72%	491%	21%
		Maks.	6,3	5,6	4,1	2,9	6,1	1,3			
		Min.	1,9	-5,0	0,1	0,1	-1,2	-1,4			
	Tüm Gün	Ort.	0,8	-0,4	0,4	0,5	-3,2	-0,4	-9%	38%	34%
		Maks.	6,3	5,6	4,1	2,9	6,1	1,3			
		Min.	-4,4	-7,5	-1,1	-0,8	-14,2	-1,9			
21.06.2011	10:30-16:30	Ort.	5,2	0,8	4,8	1,1	6,7	1,1	61%	11%	32%
		Maks.	8,5	4,9	10,3	2,4	9,7	2,6			
		Min.	1,5	-6,4	0,7	-1,0	3,4	-1,7			
	Tüm Gün	Ort.	1,2	-0,1	1,3	0,6	-1,2	0,2	16%	23%	37%
		Maks.	8,5	9,4	11,0	8,2	9,7	2,8			
		Min.	-4,8	-8,2	-9,2	-1,0	-14,1	-3,1			

Çizelge 4.3 (devam) : Durum -1 klima kapalı – ısıtıcı kapalı deneyi.

TARİH	ZAMAN		İki Konteyner Arasında Sıcaklık Farkları [Standart]-[Supertherm]						Toplam Isı Transferinde % iyileşme [1- SP/S]		AKÜ [1- SP/S]
			Ön	Sağ	Sol	Arka	Üst	İç	dıştan içeri (+)	içten dışarı (-)	ASM
22.06.2011	10:30-16:30	Ort.	4,9	0,6	4,5	0,8	7,8	0,7	60%	26%	28%
		Maks.	8,0	4,7	10,4	1,8	11,0	3,0			
		Min.	1,1	-6,5	0,0	-1,5	2,7	-2,8			
	Tüm Gün	Ort.	1,1	-0,3	1,2	0,5	2,3	0,8	-20%	-8%	57%
		Maks.	8,0	9,0	10,5	7,3	11,0	4,8			
		Min.	-7,0	-7,9	-9,7	-1,5	-11,3	-2,8			
23.06.2011	10:30-16:30	Ort.	4,6	0,7	4,1	0,5	7,9	0,1	60%	66%	10%
		Maks.	7,6	4,8	10,4	1,4	10,5	2,7			
		Min.	1,4	-6,8	-0,3	-1,7	5,1	-2,8			
	Tüm Gün	Ort.	1,1	-0,2	1,1	0,5	2,3	1,2	-17%	-17%	85%
		Maks.	7,6	8,2	10,4	8,7	10,5	6,6			
		Min.	-5,2	-7,9	-9,8	-1,7	-13,6	-2,8			
24.06.2011	10:30-16:30	Ort.	4,4	0,7	4,2	0,7	6,0	1,5	47%	-7%	42%
		Maks.	7,2	5,0	10,4	1,8	9,4	2,5			
		Min.	1,0	-6,9	-0,4	-1,5	3,4	-0,5			
	Tüm Gün	Ort.	1,0	-0,1	1,2	0,5	-1,3	0,3	25%	17%	36%
		Maks.	7,2	7,6	10,4	7,4	9,4	2,6			
		Min.	-4,0	-7,5	-8,7	-1,5	-14,4	-1,2			
25.06.2011	10:30-16:30	Ort.	4,7	0,6	4,0	1,3	5,2	1,3	54%	75%	32%
		Maks.	7,5	4,9	9,8	2,5	8,9	2,5			
		Min.	1,7	-6,8	1,0	-0,3	-0,2	-1,1			
	Tüm Gün	Ort.	1,1	-0,4	1,0	0,8	-1,0	0,3	37%	20%	32%
		Maks.	7,5	4,9	11,4	7,9	8,9	2,7			
		Min.	-2,6	-6,9	-6,9	-0,4	-11,5	-1,3			
26.06.2011	10:30-16:30	Ort.	4,2	0,7	2,8	1,6	2,8	0,5	73%	310%	0%
		Maks.	8,8	2,3	10,4	3,9	8,9	1,9			
		Min.	1,1	-3,3	-0,8	-0,1	-2,7	-1,2			
	Tüm Gün	Ort.	1,2	0,1	0,7	0,5	-2,0	0,0	68%	17%	0%
		Maks.	8,8	6,2	10,8	7,5	8,9	2,5			
		Min.	-0,7	-3,3	-9,0	-1,0	-6,4	-1,6			
27.06.2011	10:30-14:50	Ort.	6,8	2,2	1,5	1,8	4,3	-0,1	68%	9278 %	0%
		Maks.	9,8	6,9	4,7	3,1	10,3	2,3			
		Min.	3,1	-3,8	-0,8	0,1	-1,9	-1,8			

Çizelge 4.4 : Durum -1 yüzey sıcaklıkları ve iç hava sıcaklığı tablo özeti.

TARİH	ZAMAN	İki Konteyner Arasında Sıcaklık Farkları [Standart]-[Supertherm]					
		Ön	Sağ	Sol	Arka	Üst	İç
8-27 Haziran	10:30-16:30	4,6	1,2	3,5	1,5	5,3	1,3
	Tüm Gün	1,1	0,0	1,0	0,8	-0,7	0,5
	Maks.	9,8	9,4	11,4	8,9	16,1	7,0
	Min.	-7,0	-8,2	-9,8	-1,7	-15,4	-3,1

Çizelge 4.5 : Durum -1 ısı transferi ve ASM tablo özeti.

TARİH	ZAMAN	Günlük Toplam Isı Transferi (Wh)						ASM (°Ch)		
		dıştan içeri(+)			içten dışarı(-)					
		SP	S	%iyi	SP	S	%iyi	SP	S	%iyi
8-27 Haziran	10:30-16:30	200	441	55%	-44	-20	119%	8	14	45%
	Günün geri k. Günlük Ort.	302	605	50%	-976	-800	22%	14	27	48%
	Günlük Maks.	398	730	-	-1525	-1306	-	22	30	-

Çizelge 4.6 : Durum -2 klima kapalı – ısıtıcı açık deneyi.

TARİH	ZAMAN	İki Konteyner Arasında Sıcaklık Farkları [Standart]-[Supertherm]							Toplam Isı Transferinde % iyileşme [1- SP/S]		AKÜ [1- SP/S]
			Ön	Sağ	Sol	Arka	Üst	İç	dıştan içeri (+)	içten dışarı (-)	ASM
09.06.2011	12:34-15:00	Ort.	6,2	2,2	3,3	2,6	7,9	2,3	75%	23%	6%
		Maks.	7,4	3,9	6,4	3,4	9,7	5,0			
		Min.	2,8	1,5	0,6	1,9	5,7	-0,5			
	15:00-16:30	Ort.	4,4	1,7	7,2	2,5	5,9	4,2	0,0%	9%	14%
		Maks.	6,3	2,3	8,6	3,6	7,0	4,7			
		Min.	2,5	1,1	6,2	1,2	4,4	3,0			
	Tüm Gün	Ort.	1,4	0,4	1,1	1,1	2,2	1,6	14%	0,3%	20%
		Maks.	7,4	5,2	8,8	5,5	9,7	6,1			
		Min.	-0,8	-4,1	-4,1	-0,5	-4,9	-2,3			

12:34-15:00 saatleri arasında ısıtıcılar çalıştırılmıştır. İç ortam sıcaklığı 70 °C'a kadar çıkmıştır.

Çizelge 4.7 : Durum -2 ısı transferi ve ASM tablo özeti.

TARİH	ZAMAN	Günlük Toplam Isı Transferi (Wh)						ASM (°Ch)		
		dıştan içeri(+)			içten dışarı(-)					
		SP	S	%iyi	SP	S	%iyi	SP	S	%iyi
09.06.2011	10:30-16:30 Günlük Ort.	6	24	75%	-682	-581	17%	123	135	9%
	Günün geri k. Günlük Ort.	80	93	14%	-1917	-1910	0,3%	72	89	20%
	Günlük Maks.	80	93	-	-1917	-1910	-	22	30	-

Çizelge 4.8 : Durum -3 klima açık – ısıtıcı açık deneyi.

TARİH	ZAMAN	İki Konteyner Arasında Sıcaklık Farkları [Standart]-[Supertherm]							Toplam Isı Transferinde % iyileşme [1- SP/S]]		AKÜ [1- SP/S]
			Ön	Sağ	Sol	Arka	Üst	İç	dıştan içeri (+)	içten dışarı (-)	
27.06.2011	Tüm Gün	Ort.	0,5	-0,3	0,4	0,4	0,8	1,4	1%	-13%	81%
		Maks.	7,2	6,2	10,8	6,1	9,9	7,9			
		Min.	-3,6	-7,9	-10,2	-1,3	-9,9	-4,1			
28.06.2011	10:30 - 16:30	Ort.	5,6	1,6	3,3	2,1	5,8	1,9	43%	563%	97%
		Maks.	8,1	5,6	5,8	3,4	9,4	8,0			
		Min.	3,0	-6,0	1,0	0,6	1,9	-3,8			
	Tüm Gün	Ort.	2,0	0,4	1,0	0,9	-0,4	1,4	42%	-20%	97%
		Maks.	8,1	5,6	8,3	3,9	9,4	8,0			
		Min.	-0,3	-6,0	-1,6	-0,7	-5,6	-3,8			
29.06.2011	10:30 - 16:30	Ort.	3,8	0,6	2,1	1,8	5,2	2,0	44%	6%	97%
		Maks.	9,2	2,5	5,5	4,1	12,5	7,8			
		Min.	1,6	-0,6	0,1	-0,2	0,7	-3,1			
	Tüm Gün	Ort.	1,5	0,0	0,7	0,7	3,2	1,5	40%	-16%	100%
		Maks.	9,2	2,5	5,5	4,1	12,5	7,8			
		Min.	-0,2	-0,8	-0,9	-0,7	0,7	-3,1			
30.06.2011	10:30 - 16:30	Ort.	5,4	1,2	3,3	2,4	7,4	2,0	33%	0%	95%
		Maks.	8,7	4,5	7,7	4,0	12,0	7,9			
		Min.	2,3	-0,3	0,4	1,1	3,2	-3,3			
	Tüm Gün	Ort.	1,7	-0,1	1,0	1,0	3,2	1,5	-12%	-32%	95%
		Maks.	8,7	4,5	7,7	5,1	12,0	8,1			
		Min.	-2,5	-5,7	-1,5	-0,6	-7,6	-3,3			

Çizelge 4.9 : Durum -3 yüzey sıcaklıkları ve iç hava sıcaklığı tablo özeti.

TARİH	ZAMAN	İki Konteyner Arasındaki Farklar [Standart]-[Supertherm]					
		Ön	Sağ	Sol	Arka	Üst	İç
27-30 Haziran	10:30-16:30	5,0	1,1	2,9	2,1	6,1	2,0
	Tüm Gün	1,4	0,0	0,8	0,7	1,7	1,4
	Maks.	9,2	6,2	10,8	6,1	12,5	8,1
	Min.	-3,6	-7,9	-10,2	-1,3	-9,9	-4,1

Çizelge 4.10 : Durum -3 ısı transferi ve ASM tablo özeti.

TARİH	ZAMAN	Günlük Toplam Isı Transferi (Wh)						ASM (°Ch)		
		dıştan içeri(+)			içten dışarı(-)			SP	S	%iyi
		SP	S	%iyi	SP	S	%iyi			
27-30 Haziran	10:30-16:30 Günlük Ort.	357	582	39%	-30	-28	7%	0,1	3,1	97%
	Günün geri k. Günlük Ort.	180	193	7%	-1071	-1306	-18%	0,3	2,7	89%
	Günlük Maks.	526	784	-	-1461	-1673	-	1,1	5,6	-

Çizelge 4.11 : Durum -4 klima kesintisi – ısıtıcı açık deneyi.

TARİH	ZAMAN	İki Konteyner Arasında Sıcaklık Farkları [Standart]-[Supertherm]							Toplam Isı Transferinde % iyileşme [1- SP/S]		AKÜ [1- SP/S]
			Ön	Sağ	Sol	Arka	Üst	İç	dıştan içeri (+)	içten dışarı (-)	ASM
06.07.2011	11:14 - 11:31	Ort.	5,2	4,9	2,4	1,7	8,3	1,3	26%	0,0%	86%
		Maks.	5,9	5,3	2,5	2,1	9,5	4,7			
		Min.	4,2	3,8	2,2	1,5	7,2	-1,7			
	11:32 - 11:58	Ort.	6,2	4,5	2,3	2,0	9,9	0,0	49%	0,0%	5%
		Maks.	6,9	5,4	2,5	2,3	11,1	1,8			
		Min.	5,3	3,4	2,1	1,7	8,6	-7,3			
	11:59 - 16:12	Ort.	5,9	0,6	4,8	1,8	7,3	1,6	38%	712%	15%
		Maks.	8,8	3,6	10,6	2,7	10,2	4,9			
		Min.	3,0	-0,6	0,1	-0,2	2,7	-6,6			

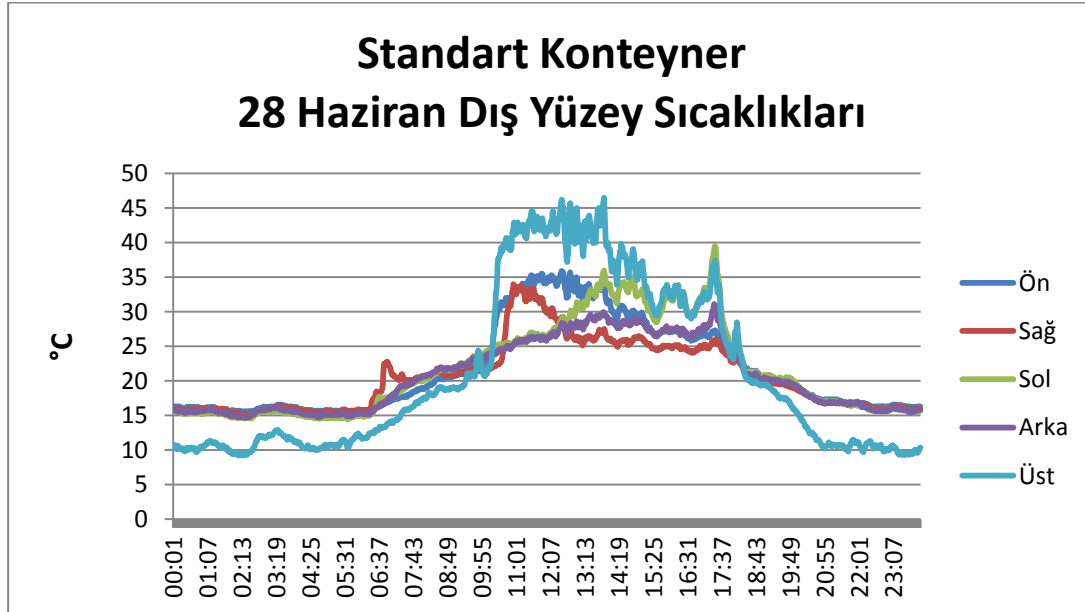
11:32-11:58 saatleri arasında klima kesintisi olmuştur. İç ortam sıcaklığının 45 °C sıcaklığa çıkması beklenip ısıtıcılar da kapatılmıştır(sistem kesintisi).

Çizelge 4.12 : Durum -4 ısı transferi ve ASM tablo özeti.

TARİH	ZAMAN	Günlük Toplam Isı Transferi (Wh)						ASM (°Ch)		
		dıştan içeri(+)			içten dışarı(-)					
		SP	S	%iyi	SP	S	%iyi	SP	S	%iyi
06.07.2011	11:32 - 11:58 Günlük Ort.	34	68	49%	-2	0	0%	5	5	5%
	Günün geri k. Günlük Ort.	210	337	38%	-7	-1	712,2%	16	19	15%
	Günlük Maks.	210	337	-	-7	-1	-	16	19	-

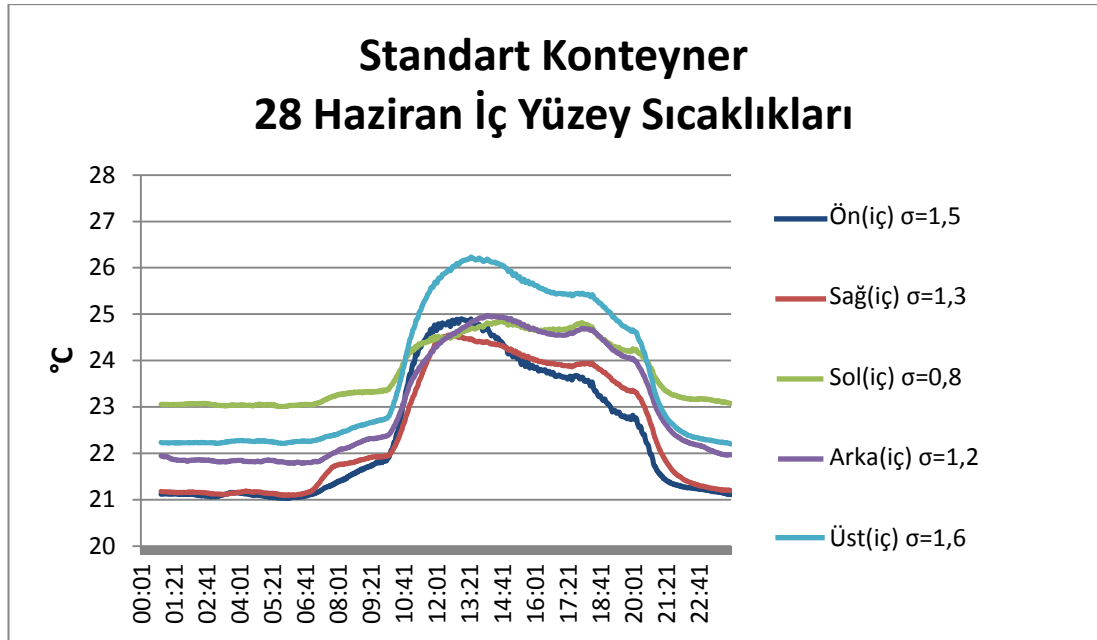
4.4 Grafikler ve Değerlendirmeler

Şekil 4.26- 4.31’de gösterilen grafiklerde teorik model ile karşılaştırma yapılabilmesi için D-1 testleri yapılan 28 Haziran 2011 günü seçilmiştir.



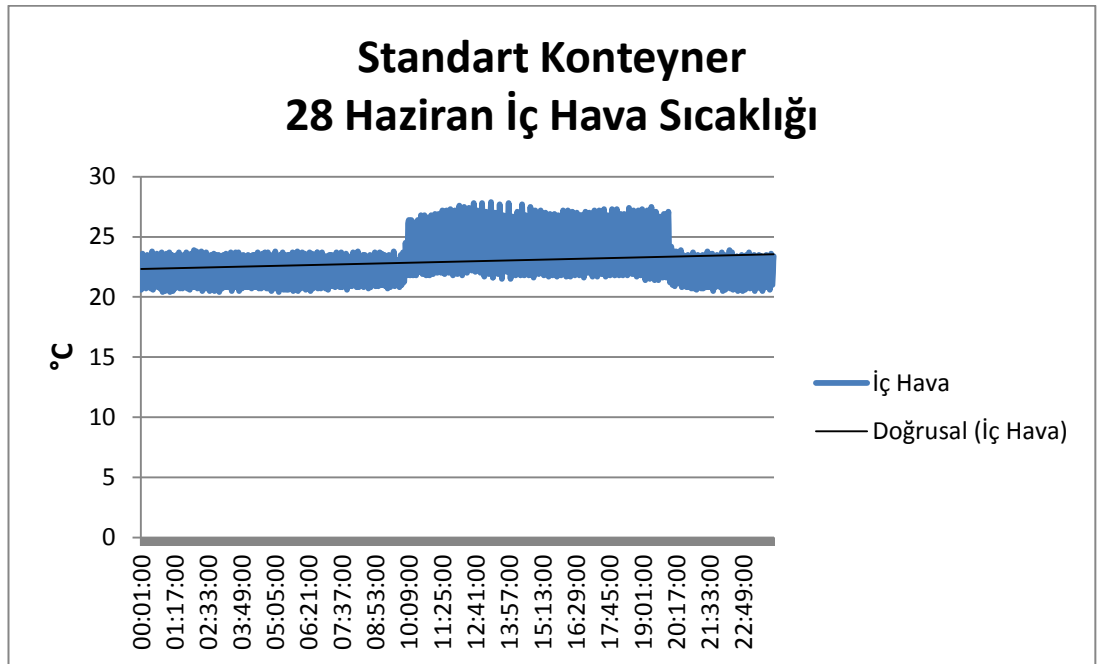
Şekil 4.26 : Dış yüzey sıcaklıkları.

Dış yüzey sıcaklıklarının güneşin pozisyonu, ısıtım şiddeti ve dış hava sıcaklığına bağlı olarak zamanla değiştiği görülmektedir.



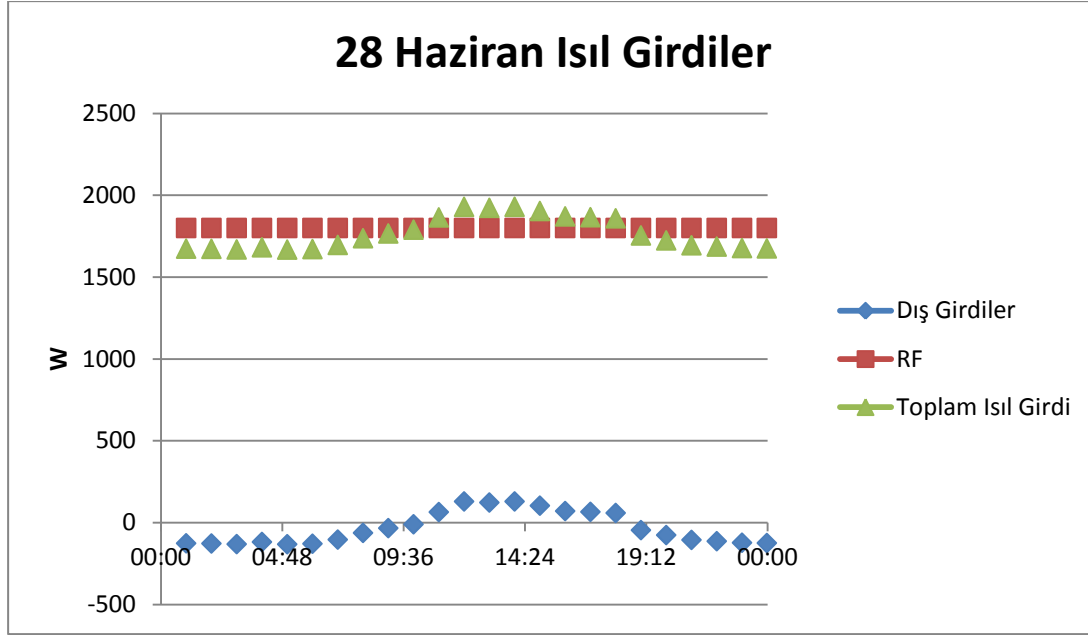
Şekil 4.27 : İç yüzey sıcaklıkları.

İç yüzey sıcaklıklarının, dış yüzey sıcaklığına bağlı olarak değişiminin yanında klima çalışması sonucu anlık salınımları göze çarpmaktadır.



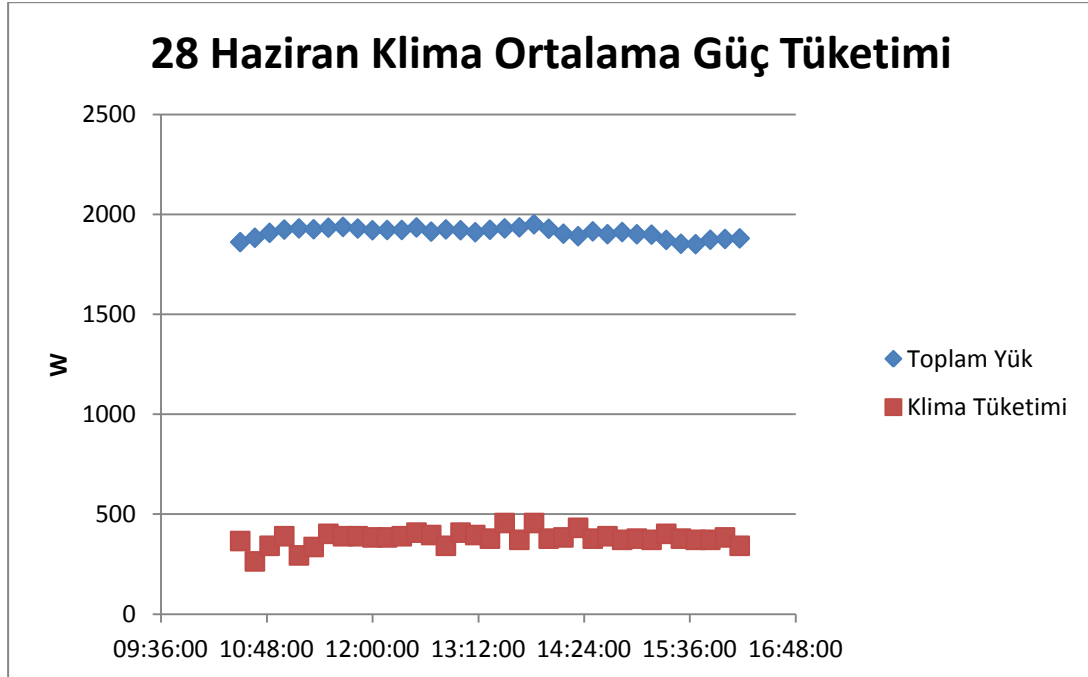
Şekil 4.28 : İç hava sıcaklığı.

Klima 24 °C'e set edildiğinden iç hava sıcaklığı ortalama 24 °C'de seyretmektedir. Gündüz saatlerinde toplam 2 kW'lık ısıtıcı çalıştığından ve günün geri kalanında 1 kW'lık ısıtıcıya düşürüldüğünden bu fark grafikte de gözükmemektedir.



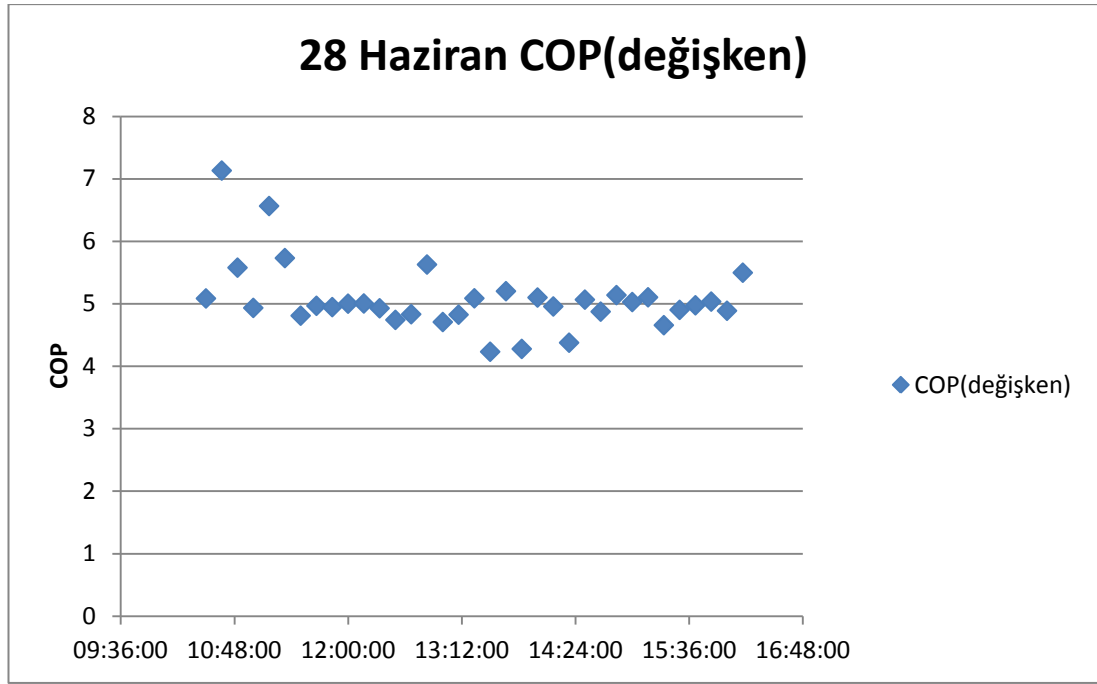
Şekil 4.29 : Isıl girdiler.

Isıl girdilerin dış yüzey sıcaklıklarındaki değişime bağlı olarak zamanla değişimi görülmektedir.



Şekil 4.30 : Klima ortalama güç tüketimi.

Klimanın ortalama güç tüketimi ile hesaplanan toplam klima yükünün zamanla değişim görülmektedir.



Şekil 4.31 : COP(değişken).

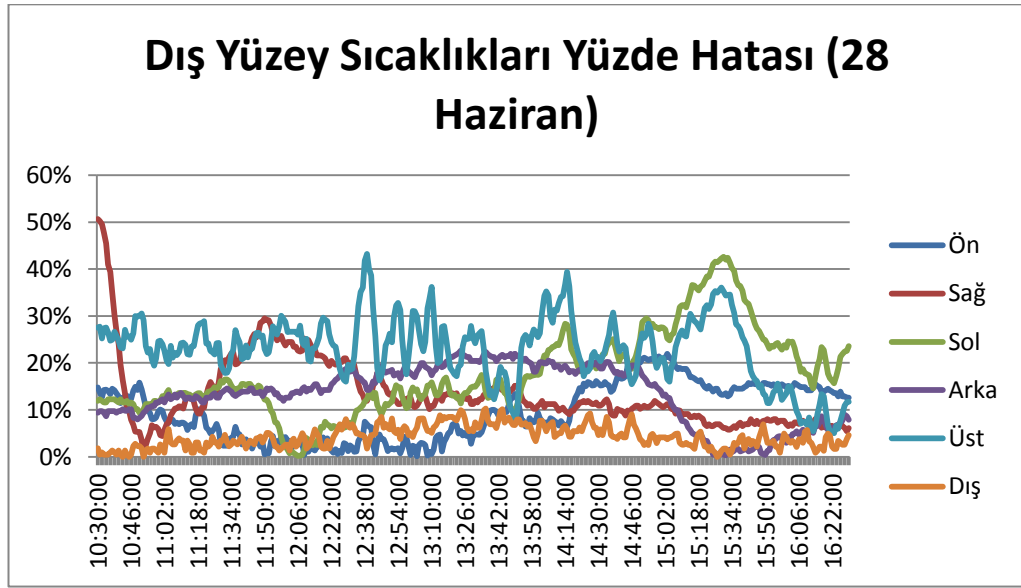
COP'nin zamanla değişimi incelendiğinde etiket değeri olan 3 değerinden daha büyük değerler aldığı görülmektedir. Bunun nedeni toplam ısı yükün klimanın kapasitesi olan 5 kW'ın oldukça altında olmasıdır.

5. ISIL MODELLEME İLE DENEYSEL UYGULAMANIN SENTEZİ

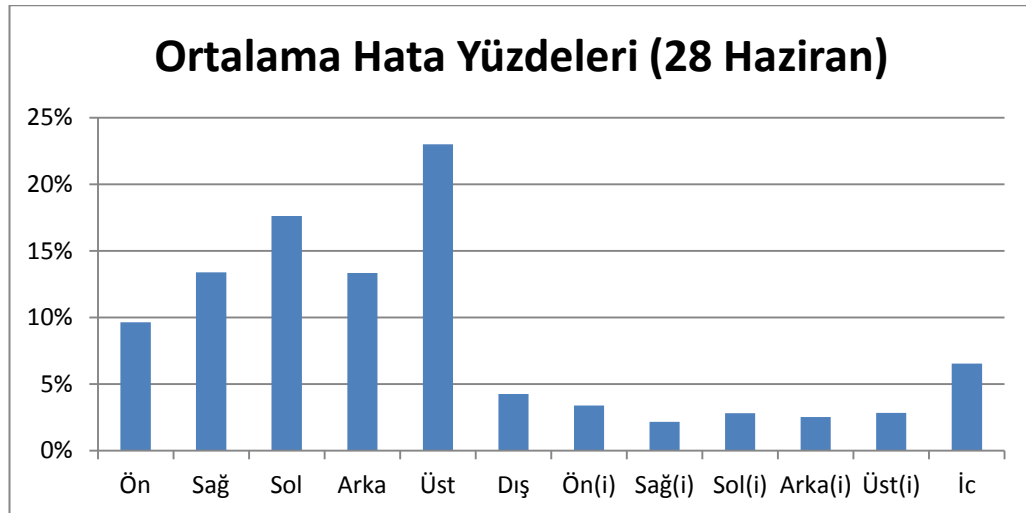
5.1 Teorik Hesaplar ile Uygulamadaki Değerlerin Karşılaştırılması

Teorik hesaplar ile uygulamadaki değerler 28 Haziran 2011 günü için karşılaştırılıp Şekil 5.1- 5-6’da gösterilmiştir.

5.1.1 Yüzey sıcaklıkları

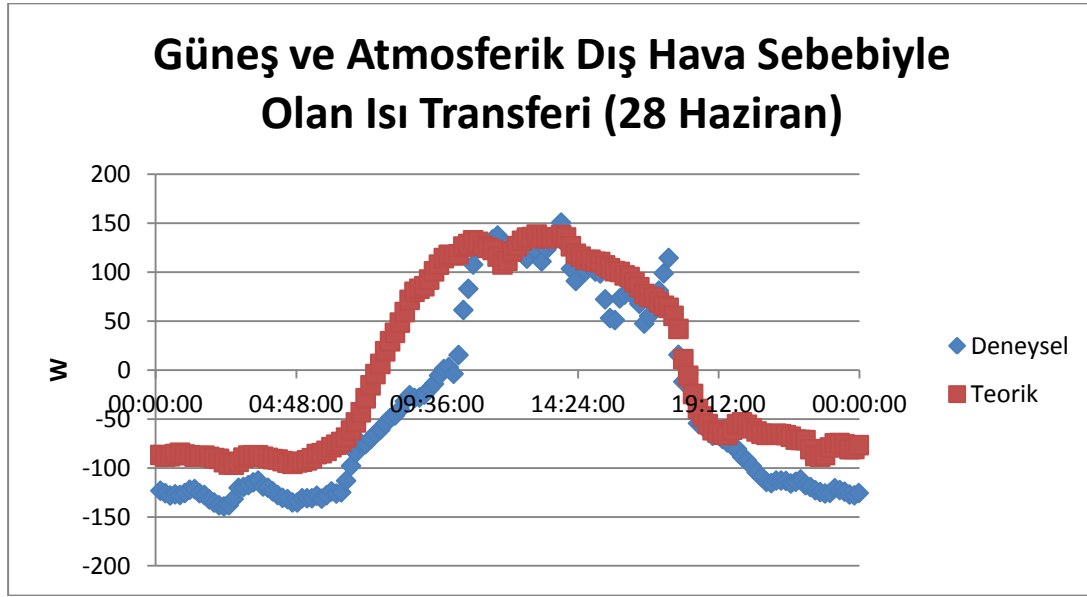


Şekil 5.1 : Dış yüzey sıcaklıkları için modelin yüzde hatası.

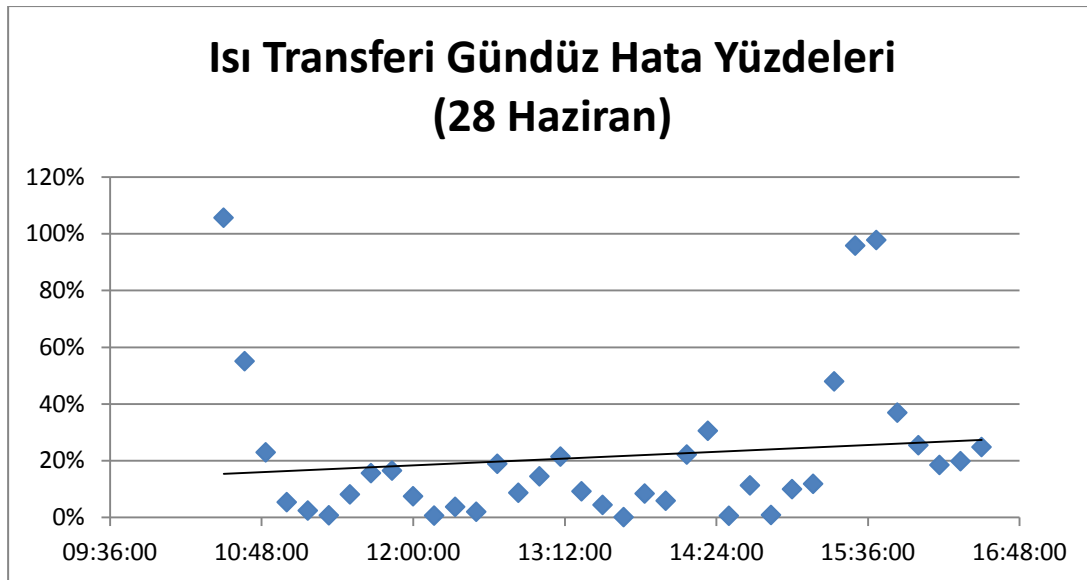


Şekil 5.2 : Ortalama hata yüzdeleri.

5.1.2 Isı transferi hesapları

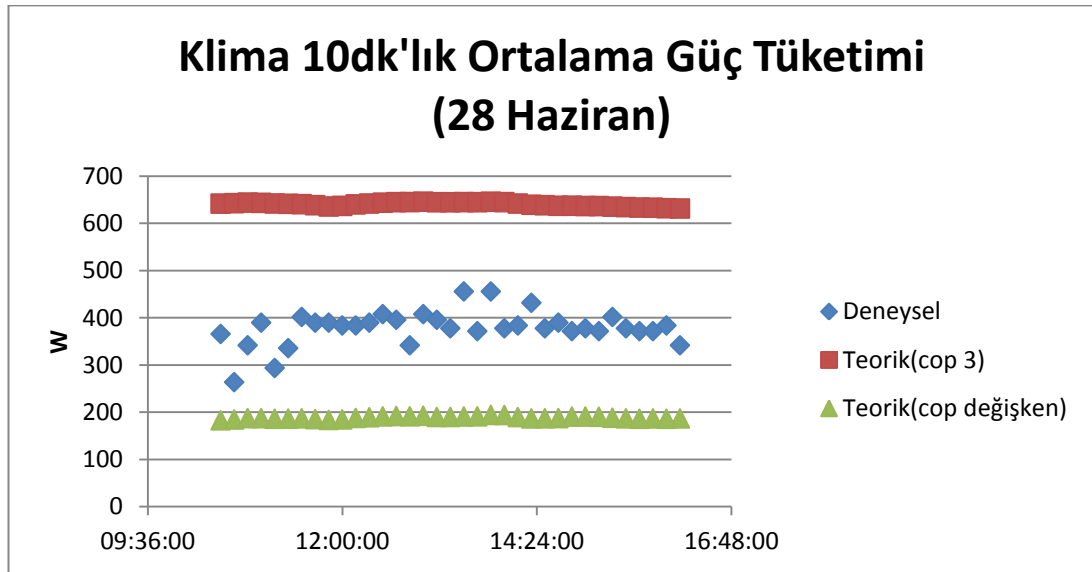


Teorik hesaplarla deneysel sonuçlar arasındaki 09:36 ‘daki farkın nedeni, teorik hesaplamalarda gölge durumunun yer almamasına rağmen güneşin doğumundan saat 10:30’a kadar olan süre içerisinde konteynerin gölgede kalmasıdır.

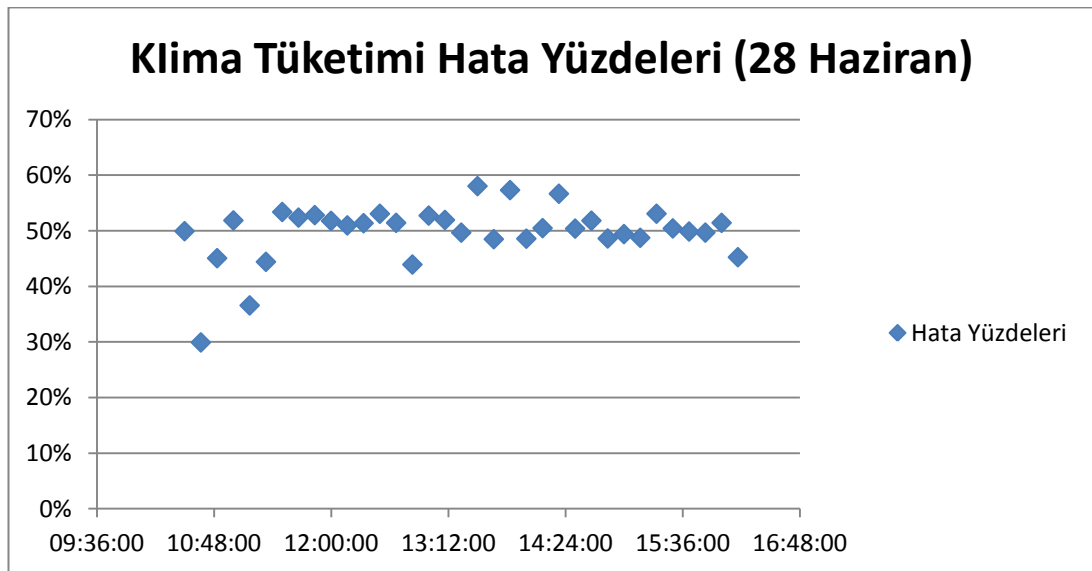


Isı transferi hesabında, güneşin bulut arkasında kalması veya konteynerin gölge alması sebebiyle verilerin toplandığı bazı anlarda teorik ile deneysel değerler arasında hata yüzdesi yüksek çıkmaktadır. Buna karşılık birçok kontrol edilemeyen değişkene rağmen ısı transferi hesaplarında modelin ortalama %20 civarında kabul edilebilir bir hata yüzdesi vardır.

5.1.3 Klima tüketim değerleri



Şekil 5.5 : Klima 10 dk'lık ortalama güç tüketimi.



Şekil 5.6 : Klima tüketimi hata yüzdeleri.

Klima tüketimi hata yüzdelerinin yüksek çıkmasının sebebi; deneydeki dış hava sıcaklığının, teorik modelde kullanılan değişken COP hesabındaki dış hava sıcaklığı aralığının dışında(altında) olmasıdır. Bu bağlamda teorik modelde kullanılan klima testlerini yenileme ihtiyacı görülmektedir. Deneylerden elde edilen ısı girdi, iç ve dış hava sıcaklığı ve klima tüketim verileri işlenerek değişken COP hesabını, daha yüksek doğruluklu sonuç verecek şekilde geliştirmek mümkün olacaktır.

5.2 ASM ile Akü Ömrü İlişkisi

Akülerin ideal çalışma sıcaklığı 25 °C'nin üstünde çalıştığı sıcaklıklarda çalışma süresine bağlı olarak akü ömürlerinde azalma olur. Çalışma ömrü boyunca 33 °C sıcaklıkta çalıştırılırsa 25 °C'deki nominal ömrüne(üreticinin verdiği değer) göre %50 azalma olur. Sıcaklığa bağlı akü ömründeki azalma lineer olarak **Şekil 5.7**'de gösterilmiştir(IEEE Std. 450, 2001). Her bir derece fark için % 6,4'lik ömür azalması olur.



Şekil 5.7 : Sıcaklık-akü ömrü ilişkisi.

Denklem (5.1)'de gerçek ömür hesabı 1 gün üzerinden verilmiştir(IEEE Std. 450, 2001).

$$Gerçek\ ömrü(\%) = \left(\frac{24}{\frac{n_1}{\%Yaşam} + \frac{n_2}{\%Yaşam} + \dots + \frac{(24 - \sum n)}{\%Yaşam}} \right) * 100 \quad (5.1)$$

n: Verilen sıcaklıkta 1 gün içerisindeki çalışma süresi(saat)

%Yaşam: Verilen sıcaklık için grafikten alınan akü ömrü yüzdesi

Örnek vermek gerekirse; D-1 testi yapılan 24 Haziran 2011 günü 10:30-16:30 saatleri arasında standart boyalı konteyner 21,6 Kh , günün geri kalan kısmında da

19,7 Kh ASM değerine sahiptir. Buna göre 6 saat boyunca 3,6 °C'lik farktan %77 ömür, 18 saat boyunca 1.1 °C'lik farktan %93 gelmektedir.

$$\frac{24}{\frac{6}{0.77} + \frac{18}{0.93}} * 100 = \%88$$

24 Haziran 2011 günü yaşananlara akünün sürekli maruz kalması durumunda akü ömrü %12 azalır.

Daha pratik olarak günlük toplam ASM değeri olan 41,4 Kh değerini, günlük toplam zaman olan 24 h'e bölerek 1.7 °C ortalama sıcaklık farkı elde edilir. Bu değer, her derece için %6.4 olan ömür azalması değeri ile çarpılırsa %11 gibi bir ömür azalması değeri elde edilir. Buna göre, 4. bölümde tablolarda verilen ASM değerlerinden hareketle akülerin ömürlerindeki azalmayı kolayca hesaplamak mümkündür.

6. SONUÇLAR

6.1 Supertherm Boya Kullanımı

Yapılan deneysel uygulamada görüldüğü üzere Supertherm boyasının güneş ışınlarını yansıtmadaki başarısı doğrulanmıştır. Dış yüzeylerdeki sıcaklık düşümünün ısı transferine katkısı gözlemlenmektedir. Kızılötesi yansıtıcı boya uygulaması, dışarıdan olan ısı transferinde D-1 testinde de görüldüğü üzere iç ısı yükler olmadan iç hava sıcaklığında sıcaklık düşüşü sağlar. Bu da aşırı sıcaklık maruziyetine (ASM) karşı aküler üzerinde avantaj sağlar. Özellikle klima kesintisi durumunda akülerin yüksek sıcaklığa çıkmasını geciktirir ve böylece akü ömründe önemli avantajlar sağlayabilir.

6.2 Yalıtım Kalınlığı

Teorik ve deneysel çalışmalarda karşılaşıldığı üzere yalıtım kalınlığının ısı transferi, ısı yükler ve klima tüketim hesaplarına büyük bir etkisi vardır. Yalıtım kalınlığı, klimanın yalıtımlı hacimde çalışması için enerji verimliliği sağlarken, içeriden dışarıya doğal yolla ısı atımına karşı da bir engel oluşturarak dezavantaj yaratmaktadır. Bu durum en çok kış koşulları göz önüne alındığında önem kazanır. Yalıtım kalınlığı, klimanın tüm yıl için enerji tüketim maliyetinin ve ayrıca akü ömürlerine bağlı akü değişim maliyetlerinin toplamı göz önüne alınarak optimize edilmelidir.

6.3 Enerji Tüketiminin ve İşletme Giderlerinin Azaltılması için Olası Yaklaşımlar ve Çözüm Önerileri

Yapılan çalışmada görüldüğü üzere, enerji verimliliği ve işletme giderleri açısından konteynerlerde en önemli etkenlerden biri klimadır. Isıl girdiler içinde ise en büyük ısı yükünün, iç ısı yükü olan RF cihazlarının ısı atımı olduğu gerek teorik model gerekse de deneylerle ortaya konulmuştur. Isıl girdiler hesaplandığında daha düşük kapasiteli bir klima kullanılabilir. Klima kesintilerinde akülerin ASM durumuna karşı iç sıcaklığı düşük tutma amaçlı çözümlerin üzerinde durulmalıdır. Bu akü

ömürlerini arttıracak için önemli bir ekonomi sağlayacaktır. Bu doğrultuda kızılötesi yansıtıcı boyaların kullanımı bir çözüm olabilecektir. Bu tez çalışmasının devamı niteliğinde olacak çalışmalarda değişken COP değerini ve dolayısıyla klima tüketimini teorik olarak daha yüksek doğruluklu hesaplamak için deneylerde elde edilen verilerden yola çıkılarak yeni polinom denklemleri oluşturulabilir.

Tezde bugüne kadar teorik model oluşturma, deneysel tasarım ve uygulama yapılmıştır. Akü sıcaklığı ile akü ömrü arasındaki ilişkilerden de yararlanarak işletme giderlerinin azaltılması yönelik, optimizasyon ve fizibilite değerlendirmesi için de bir model geliştirilebilir.

Bu çerçevede özetlenecek olursa, işletim giderlerini azaltmak üzere bu çalışmada ele alınan ve alınacak iki temel başlık vardır. Bunlar klimanın elektrik tüketimi ile akülerin değişme sıklığına bağlı işletme maliyetleridir.

Bu tez çalışması kapsamında üzerinde çalışılan ısıl model daha geliştirilerek daha farklı enerji verimlilik çözümleri teorik olarak incelenebilir, deneysel çalışmayla sınanmış olan bu model yardımıyla İstanbul yanısıra hem yaz hem de kış koşulları için farklı il ve ülkelerdeki konteynerler için analizler yapılabilir.

Son söz olarak, RF ekipmanların ısı atımını konteyner içerisine yapıp daha sonra bu ısıyı klima vasıtasıyla konteyner dışına atmak yerine doğrudan konteyner dışına vermenin enerji verimliliği ve işletim giderlerinin azaltılması açısından uygun bir çözüm olacağı aşıkardır. Bunun yanında klima-free cooling cihazını sabit saatlerde değil optimum iç ve dış hava sıcaklıklarında çalışmasını sağlamak enerji verimliliğini daha da arttıracaktır.

KAYNAKLAR

- Akıncı H.**, 2007: Günümüzde uygulanan ısı yalıtım malzemeleri, özellikleri, uygulama teknikleri ve fiyat analizleri, sy 44, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- DIN 5034 Part 2**, 1985: Daylight in interiors, Alman Standardları Enstitüsü, Düsseldorf.
- IEEE Std. 1187**, (2002) IEEE Recommended Practice for Installation Design and Installation of Valve-Regulated Lead-Acid Storage Batteries for Stationary Applications.
- IEEE Std. 450-R10**, (2001) IEEE Recommended Practice for Maintenance, Testing and Replacement of vented Lead-Acid Batteries for Stationary Applications. –Annex H, Effects of elevated electrolyte temperature on vented lead-acid batteries.
- Incropera DeWitt**, 2000: Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri, Literatür Yayınları, İstanbul.
- Jaworski, R. K.** , (1999). Statistical Parameters for Predicting Time to Failure of Telecommunications Batteries. Proceedings of the Twentieth Annual Intelec Telecommunications Energy Conference, Copenhagen, Denmark.
- Jin-Long, L., T.-J., Y.**, (2006). Modeling, identification and control of air-conditioning systems. International Journal of Refrigeration 30 209e220 doi:10.1016/j.ijrefrig.2006.08.009
- Kaptan, N.** , 2011: Aktif Güneş Enerjisi Sistemleri Ders Notları, İTÜ Enerji Enstitüsü İstanbul.
- Kıncay O.** , Güneş Enerjisi Ders Notları 2. Bölüm, alındığı tarih: 28.07.2011
- Lubritto, C., Petraglia, A., Vetromile, C., Curcuruto, S., Logorelli, M., Marsico, G., D’Onofrio, A.**, (2010). Energy and environmental aspects of mobile communication systems. Energy 36 (2011) 1109e1114 doi:10.1016/j.energy.2010.11.039
- Meteotest**, 2002: Armines, Turbidity Haritaları, Ecole des Mines de Paris.
- Nema, P., Nema, R.K. , Rangnekar, S.**, (2010). Minimization of green house gases emission by using hybrid energy system for telephony base station site application. Renewable and Sustainable Energy Reviews 14 (2010) 1635–1639 doi:10.1016/j.rser.2010.02.012
- Shanmuga Sundaram, A., Seeniraj, R.V., Velraj, R.**, (2010). An experimental investigation on passive cooling system comprising phase change material and two-phase closed thermosyphon for telecom shelters in

tropical and desert regions. *Energy and Buildings* 42 (2010) 1726–1735 doi:10.1016/j.enbuild.2010.05.008

Shuangquan, S., Wenxing, S., Xianting, L., Huajun, C., (2004). Performance representation of variable-speed compressor for inverter air conditioners based on experimental data. *International Journal of Refrigeration* 27 805–815 doi:10.1016/j.ijrefrig.2004.02.008

Şişman A. , Barutçu B. , 2010: Photo-Voltaic Power Systems Ders Notları, İstanbul.

Turhan K. , Klimalarda COP'nin iç ve dış hava sıcaklığına bağımlılığının deneysel analizi ve teknik raporu, Kasım 2010, İTÜ Enerji Enstitüsü, Yeni Enerji Teknolojileri Araştırma Grubu Teknik Raporu

Url-1 <<http://www.mgm.gov.tr/2006/arastirma/filesOzon/gunes6.jpg>> alındığı tarih: 28.07.2011.

Venkatarathnam G., (2009). The coefficient of performance of an ideal air conditioner. *International Journal of Refrigeration* 32 1929–1931 doi:10.1016/j.ijrefrig.2009.06.010

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Cem GÜRSES

Doğum Yeri ve Tarihi: Fatih / 30.01.1987

Adres: Sakızağacı sok. no:21 S.Aksoy Apt. B blok d:13 Fulya/ İstanbul

E-Posta: cemgurses@yahoo.com

Lisans: Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği

Yüksek Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Bilim ve Teknoloji

Mesleki Deneyim ve Ödüller:

- İTÜ Enerji Enstitüsü, Endüstri Destekli Araştırma Görevlisi 2010-2011 (Turkcell Akademi Bursu)