

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ**

**GECE SOĞUTMASININ BİNA ISIL PERFORMANSINA ETKİLERİNİN  
SAATLİK ANALİZ PROGRAMI İLE İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İsmail ÇELİK**

**Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı**

**Enerji Bilim ve Teknoloji Programı**

**EYLÜL 2019**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ**

**GECE SOĞUTMASININ BİNA ISIL PERFORMANSINA ETKİLERİNİN  
SAATLİK ANALİZ PROGRAMI İLE İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İsmail ÇELİK  
(301151013)**

**Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı**

**Enerji Bilim ve Teknoloji Programı**

**Tez Danışmanı: Dr. Öğr.Ü. Murat ÇAKAN**

**EYLÜL 2019**



İTÜ, Enerji Enstitüsü'nün 301151013 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi İsmail Çelik, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “GECE SOĞUTMASININ BİNA ISIL PERFORMANSINA ETKİLERİNİN SAATLİK ANALİZ PROGRAMI İLE İNCELENMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :**      **Dr. Öğr.Ü. Murat ÇAKAN**      .....

İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :**      **Prof. Dr. Ali PINARBAŞI**      .....

Yıldız Teknik Üniversitesi

**Prof. Dr. Mesut GÜR**      .....

Boğaziçi Üniversitesi

**Teslim Tarihi**      :   **3 Mayıs 2019**

**Savunma Tarihi**    :   **10 Haziran 2019**



*Güzel bir geleceğe,*





## ÖNSÖZ

Endüstrileşme ve teknoloji, toplumsal ve bireysel enerji ihtiyaçlarını arttırmıştır. Enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla kullanılan birçok konvansiyonel sistem, fosil kaynaklara dayanmaktadır. Çevre ve maliyet açısından düşüncecek olursak fosil yakıtların kullanımı dünyamıza zarar vermektedir. Bu sebeple alternatif kaynaklar aranmış, enerji verimliliğine olan ilgi artmıştır.

Yapılarda iklimlendirme, enerji talebinin yüksek olduğu alanlardan biridir. Tez kapsamında gece soğutması ile yapılarda enerji talebinin ne kadar azaltılabileceği farklı iklimsel verilere dayanılarak incelenmiştir. Örnek bir yapı ele alınarak saatlik ısı analiz programı ile enerji verimliliği ve konfor etkileri araştırılmıştır.

Yapılan tez çalışmaları boyunca, mesleki ve sosyal anlamda bana yol gösteren değerli hocam, mentörüm Dr. Öğr. Ü. Murat ÇAKAN'a, iş hayatında bana mühendislik bakış açısı ve tecrübe kazandıran sayın Fatma AKIM ve Süleyman AKIM'a, eğitim hayatım boyunca ve ötesinde beni destekleyen Halim Kudret Sayın ve tüm Sayın Ailesi'ne, Solar Decathlon Africa Reyard House ekibine, tez yazımı boyunca beni yalnız bırakmayan Evelina PILECKAITE'e, çok sevdiğim çalışma arkadaşlarım Umur TEMURER, Uğurcan UÇAR ve Evren ARSLANER'e, çok kıymetli yol arkadaşlarım Kaan EMİR ve Umud ŞENLİOL'a, kardeşlerim Brotherhood'a, Alper ÇELİK ve tüm aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Haziran 2019

İsmail Çelik  
Makina Mühendisi



# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER .....	ix
KISALTMALAR .....	xi
SEMBOLLER .....	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY.....	xx
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1 Tezin Amacı .....	2
1.2 Tezin Kapsamı.....	2
1.3 Tezin Yöntemi.....	2
<b>2. GENEL KAVRAMLAR.....</b>	<b>3</b>
2.1 Yapılarda Enerji Verimliliği.....	3
<b>3. LİTERATÜR TARAMASI .....</b>	<b>11</b>
3.1 Uygulama Örnekleri ve Performans Analizleri.....	11
<b>4. ENERJİ PERFORMANS ANALİZİ.....</b>	<b>13</b>
4.1 Yapılarda Soğutma Yükü Hesaplanması.....	14
4.2 Transfer Fonksiyonu ve Saatlik Isıl Yük Analizi.....	15
<b>5. METODOLOJİ .....</b>	<b>23</b>
5.1 Hipotez .....	23
5.2 Hesaplama Programı ve Veri Girişi .....	24
5.2.1 Gece soğutmasının sisteme eklenmesi.....	25
5.2.2 Farklı iklim bölgelerinin incelenmesi .....	26
5.2.2.1 Ben Guerir (Fas).....	27
5.2.2.2 İstanbul.....	27
5.2.2.3 Ankara .....	28
5.2.2.4 İzmir .....	29
<b>6. SONUÇLAR .....</b>	<b>31</b>
6.1 Enerji Tasarruflarının Karşılaştırılması.....	31
6.1.1 Ben Guerir ve 24 °C Konfor Sıcaklığı .....	31
6.1.2 İstanbul ve 24 °C Konfor Sıcaklığı .....	33
6.1.3 Ankara ve 24 °C Konfor Sıcaklığı .....	34
6.1.4 İzmir ve 24 °C Konfor Sıcaklığı .....	36
6.2 İç Ortam Konfor Sıcaklığının Etkileri ( 24°C ve 27 °C ) .....	38
<b>7. TARTIŞMA VE YORUMLAR.....</b>	<b>41</b>
7.1 Ben Guerir (Fas).....	41
7.2 İstanbul .....	42
7.3 Ankara .....	44
7.4 İzmir .....	45
7.5 Ben Guerir 27°C .....	46
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>49</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>51</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>55</b>



## **KISALTMALAR**

<b>OECD</b>	: Organisation for Economic Co-operation and Development
<b>HVAC</b>	: Heating Ventilating and Air Conditioning
<b>ASHRAE</b>	: American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning
<b>ISO</b>	: International Organization for Standardization
<b>HAD</b>	: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
<b>HBM</b>	: Heat Balance Method
<b>TFM</b>	: Transfer Function Method
<b>HAP</b>	: Hourly Analysis Programme
<b>COP</b>	: Coefficient of Performance ( Performans Katsayısı )
<b>U</b>	: Toplam Isı Transfer Katsayısı
<b>AB</b>	: Avrupa Birliği
<b>HDO</b>	: Hava Değişim Oranı
<b>ACH</b>	: Air Change per Hour



## SEMBOLLER

<b>A<sub>f</sub></b>	: Döşeme alanı (m <sup>2</sup> )
<b>C<sub>pa</sub></b>	: Havanın özgül ısısı, (1004.8 J/kg-K)
<b>H</b>	: Döşeme tavan arası kat yüksekliği (m)
<b>h<sub>fg</sub></b>	: Suyun buharlaşma ısısı, (2.4535 x10 <sup>6</sup> J/kg)
<b>K</b>	: Düzeltme Faktörü
<b>r<sub>a</sub></b>	: Havanın öz kütlesi, (kg/m <sup>3</sup> )
<b>Q<sub>l</sub></b>	: Gizli ısı yükü, (W)
<b>Q<sub>s</sub></b>	: Duyulur ısı yükü, (W)
<b>T<sub>oa</sub></b>	: Dış hava sıcaklığı, (°C)
<b>T<sub>r</sub></b>	: Oda sıcaklığı, (°C)
<b>V<sub>i</sub></b>	: İnfiltrasyon debisi, (L/s)
<b>w<sub>oa</sub></b>	: Dış hava özgül nemi, (kg/kg)
<b>w<sub>r</sub></b>	: Oda özgül nemi, (kg/kg)
<b>q</b>	: Isıl kazanç, (W)
<b>HG</b>	: Metabolik ısı kazancı, (W/kişi)
<b>O</b>	: Mahaldeki insan sayısı
<b>f<sub>s</sub></b>	: Saatlik kullanıcı profili oranı
<b>P<sub>e</sub></b>	: Elektrik ekipman yükü
<b>P<sub>l</sub></b>	: Aydınlatma yükü.
<b>BM</b>	: Ballast çarpanı
<b>T<sub>adj</sub></b>	: Bitişik mahal sıcaklığı, (°C)
<b>T<sub>sa</sub></b>	: Sol-air temperature, Gün-hava sıcaklığı, (°C)
<b>a</b>	: Dış yüze radrasyon absorbe edebilme oranı
<b>I<sub>t</sub></b>	: Yüzeydeki toplam güneş akısı, (W/m <sup>2</sup> )
<b>h<sub>o</sub></b>	: Dış yüzeyler için konveksiyonel ısı transfer katsayısı
<b>e</b>	: Dış yüzey emisyonu
<b>DR</b>	: Dış yüzey gelen uzun dalga radyasyonu ile kara cisim radrasyonu farkı
<b>ASHG</b>	: Absorbe edilen solar kazanç, (W)
<b>ASHGb</b>	: Absorbe edilen solar kazancın ışınım bileşeni, (W/m <sup>2</sup> )
<b>ASHGd</b>	: Absorbe edilen solar kazancın difüzyon bileşeni, (W/m <sup>2</sup> )
<b>F<sub>s</sub></b>	: Gölgeleyen cam katsayısı
<b>Ni</b>	: Referans cam tarafından absorbe edilen solar radyasyon katsayısı
<b>SC</b>	: Pencere gölgeleme katsayısı
<b>SHG</b>	: Pencereden gelen toplam solar yük, (W)
<b>TSHG</b>	: Solar yükün transfer bileşeni, (W)
<b>TSHGb</b>	: Transfer edilen solar yükün ışınım bileşeni, (W)
<b>TSHGd</b>	: Transfer edilen solar yükün difüzyon bileşeni, (W/m <sup>2</sup> )





## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

Çizelge 2.1: Toplumsal Olaylar ve Enerji Verimliliği Yaklaşımları [6]. .....	4
Çizelge 2.2: Enerji Tasarrufuna Yönelik Eylemler [8].....	5
Çizelge 5.1 : Duvar Katmanları [26]. .....	24
Çizelge 5.2: Çatı Katmanları [23].....	25
Çizelge 7.1 : Ben Guerir enerji talebindeki azalma yüzdeleri. ....	41
Çizelge 7.2 : İstanbul enerji talebindeki azalma yüzdeleri. ....	43
Çizelge 7.3 : Ankara enerji talebindeki azalma yüzdeleri. ....	44
Çizelge 7.4 : İzmir enerji talebindeki azalma yüzdeleri. ....	45
Çizelge 7.5 : Ben Guerir 27°C'de enerji talebindeki azalma yüzdeleri. ....	46



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1: Gece soğutmasının gün içerisinde çalışma prensibi [3].	8
Şekil 4.1 : Enerji performans analizinde girdi ve çıktılar	14
Şekil 4.2 : Duvardan gelen ısı kazancı üzerindeki gecikme [23]	18
Şekil 5.1 : HAP infiltrasyon ile gece soğutmasının programa tanımlanması	51
Şekil 5.2 : Ben Guerir günlük sıcaklık değerleri	52
Şekil 5.3 : İstanbul günlük sıcaklık değerleri	53
Şekil 5.4 : Ankara günlük sıcaklık değerleri	53
Şekil 5.5 : İzmir günlük sıcaklık değerleri	54
Şekil 6.1 : Ben Guerir için aylık enerji ihtiyacı	56
Şekil 6.2 : Ben Guerir için 24°C’de gündüz başlangıç sıcaklıkları	56
Şekil 6.3 : İstanbul için aylık enerji ihtiyacı	57
Şekil 6.4 : İstanbul için 24°C’de gündüz başlangıç sıcaklıkları	58
Şekil 6.5 : Ankara için aylık enerji ihtiyacı	58
Şekil 6.6 : Ankara için 24°C’de gündüz başlangıç sıcaklıkları	59
Şekil 6.7 : İzmir için aylık enerji ihtiyacı	60
Şekil 6.8 : İzmir için 24°C’de gündüz başlangıç sıcaklıkları	61
Şekil 6.9 : 27°C set değeri için Ben Guerir aylık enerji ihtiyacı	62
Şekil 6.10 : Ben Guerir için 27°C’de gündüz başlangıç sıcaklıkları	61
Şekil 7.1 : Ben Guerir elektrik talebindeki azalmanın fiyat karşılığı	64
Şekil 7.2 : İstanbul elektrik talebindeki azalmanın fiyat karşılığı	65
Şekil 7.3 : Ankara elektrik talebindeki azalmanın fiyat karşılığı	66
Şekil 7.4 : İzmir elektrik talebindeki azalmanın fiyat karşılığı	68
Şekil 7.5 : Ben Guerir 27°C’de elektrik talebindeki azalmanın fiyat karşılığı	69
Şekil A.1 : Örnek yapının mimarisi	76



# GECE SOĞUTMASININ BİNA ISIL PERFORMANSINA ETKİLERİNİN SAATLİK ANALİZ PROGRAMI İLE İNCELENMESİ

## ÖZET

Özellikle iklimlendirme alanında ihtiyaç duyulan enerji talebindeki artış, ısıtma ve soğutma sistemlerinde yeni arayışlara yol açmış ve enerji verimli sistemlerin tercih edilmesini sağlamıştır. Pasif yaklaşımlar, iklimlendirme sistemlerinde verimliliği arttıran önemli başlıklardandır. Gece soğutması ya da diğer bir tabir ile gece havalandırması, pasif ve fan takviyesi ile hibrit sistem olarak soğutmada enerji verimliliğini sağlayabilecek, enerji etkin bir sistem olarak karşımıza çıkmaktadır. Gece soğutması prensibi, temel olarak gün içerisinde yapıda biriken ısıyı gece dış ortam havası ile uzaklaştırmaya ve termal kütlede bu serinliği depolamaya dayanır.

Tez kapsamında gece soğutması örnek bir yapı ele alınarak saatlik ısı performans analizine tabii tutulmuştur. Farklı iklim değerlerinin incelenmesi adına çöl iklimi, karasal iklim ve ılıman iklim bölgelerinden 4 farklı lokasyon seçilmiştir. Ben Guerir (Fas) çöl iklimini, Ankara karasal iklimi, İstanbul ve İzmir ise ılıman iklimi temsil etmektedir. Her bir lokasyon için Mayıs – Ekim aylarında soğutma ihtiyacı ısı konfor değerleri göz önünde bulundurularak saatlik olarak hesaplanmıştır.

Isıl yük analizinde, “Heat Balance Method”dan türetilmiş olan “Transfer Fonksiyonu Metodu” kullanılmıştır. Transfer fonksiyonunda yapının her bir bileşeni ayrı ayrı hesaplanarak ısı yükler bulunmaktadır. Transfer fonksiyonu yöntemi, ASHRAE tarafından kabul görmüş bir hesaplama yöntemidir. Binalarda ısı performans analizleri uzun ve karmaşık basamaklara sahip olduğu için saatlik yük analizi yapabilen paket program Carrier HAP® kullanılmıştır. Esas alınan bina programa tanımlanırken, gece soğutması sistemini oluşturacak şekilde program kurgusu oluşturulmuştur. Buna göre iklimlendirme sisteminin çalıştırılmadığı zaman olarak gece saatleri belirlenmiş ve sırasıyla 3, 5 ve 8 hava çevrimi mahalde tanımlanmıştır.

Hesaplamalarda örnek yapının salonu için 24:00 ile 7:00 saatleri arasında gece soğutması yapılacağı ön görülmüş ve iç ortam set değeri 24°C olarak kabul edilmiştir. Daha sonrasında konfor sıcaklığının gece soğutmasına etkisini görmek için mahal set değeri 27°C alınarak sonuçlar tartışılmıştır.

Daha önce yapılan gece soğutması çalışmalarına benzer olarak, gece gündüz sıcaklık farkının fazla olması, gece soğutmasının verimliliğini arttırdığı saptanmıştır. Ben Guerir gibi çöl iklimine sahip bölgelerde gece soğutmasının yüksek verim ile çalıştığı, öte yandan yüksek sıcaklıkların gözlemlendiği mevsimlerde kontrollü gece soğutmasının yapılması gerektiği, karasal iklim bölgelerinde geçiş mevsiminde sıcaklıkların istemsiz olarak konfor sıcaklıklarının çok altına inebileceği, ılıman bölgelerde gece soğutmasının etkilerinin azaldığı ve nem gibi farklı parametrelerin de kontrol edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Sistemin verimliliğini daha iyi anlamak adına ısı pompasının COP değerlerindeki değişim de hesaba katılarak yapılacak olan yıl boyu analizler ileriki araştırmalara konu olabilir.

# **INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF NIGHT COOLING ON BUILDING THERMAL PERFORMANCE WITH HOURLY ANALYSIS PROGRAM**

## **SUMMARY**

Energy demand in manufacturing, housing, transportation and in many other topic keep increasing from the past to present. Especially, changing in life style affects this situation. The comfort level of the people is one of the essential topic for buildings nowadays. Therefore, climatization systems are huge energy consumer in building sector. When different climate zones are observed, it is noticed that the demand and type of the energy ( heating or cooling ) are changing. Hot and mild climates zones generally require more energy for cooling and northern countries which have cold and continental climate require more heating energy. On the other hand, design approaches have been changed and now even cold climate zones demand cooling energy during certain time of periods. That's why cooling energy decrement in buildings with energy efficient systems would be key aspect for energy saving.

Energy usage in buildings is supplied by mostly fossil fuels. Decreasing the demand provide local and global benefits. Low demand means low energy supply and it leads to limited number of power plants. At the end, cleaner nature and rational orientated investments create difference in all around the world. Therefore building energy performance regulations are considered as an important constituent in energys savings. These regulations for buildings are mostly about building façade, HVAC systems, lighting and sanitar systems. Standards such as ASHRAE, EN can be considered as an example.

Wise use of passive, active and hybrid system in buildings provide energy efficiency. Night cooling, also known as night purge and night ventilation, is considered as passive system. The main principle of the night cooling is based to swipe out abosbed heat during the day in the building components and store the cool by using cool night air. This method provides decreasing peak temperature and cooling energy demand during the day. The main subject in night cooling is the building should allow to store heat during the day and extract it by night that has lower outside temperature. Night cooling can be wind driven or it can be maintained with a fan. Additionally, due to unexpected temperature changes during cooling season may affect night cooling efficiency and makes it difficult to provide indoor comfort level.

Climate characteristic is the first topic to investigate for the night cooling because the night cooling performs at best for low night temperatures come after hot and dry day time regarding to high temperature difference. Therefore, desert, semi-desert, continenal climate zones perform high efficient night cooling in general. One other topic is precipitation. In the location which considered for night cooling, precauitons should be taken both safety and humidity reasons. Automation systems help to sustain night cooling in controlling temperature and humidity interior spaces.

One of the main objective of the night cooling is to help indoor enviromental quality. Thermal comfort terms are defined by ASHRAE and ISO regarding to inside, outside temperature, clothing, activation levels and etc. It is claimed that in naturally ventilated spaces, occupants desire comfort levels with longer band gaps.

Passive cooling strategy night cooling has been researched regarding to many topics. Indoor air quality efficiency, evaporative cooling assistance, working with radiant cooling are discussed based on night cooling. These numerical and experimental studies helped to understand night cooling and determine parameters such as building physic, climate and etc. It is seen that mean outside temperature range gives clear understanding about climate affect in night cooling. It is also noted HVAC systems can provide night cooling with automation system with no additional investment and save significant cooling energy. Degree-days climate datas have been used to create a method to evaluate night cooling in Europe also it is asserted phase change materials can increase night cooling efficiency.

Energy simulation is used to find out energy demand of building, selection of mechanical systems and energy utilization costs. Weather data, load profiles, construction materials, equipment efficiency are need to perform simulation analysis. Heating and cooling energy demand of the building can be determined with simulation. To practise simulation, software programmes can be used to decrease the time spent for calculations.

The calculations for cooling load of the building can be practise with different methods such as Heat Balance Method or Transfer Function Method. For each method, it can be said that heat gain occurs in space with convection and radiation. The solar radiation hits to surface of the wall and wall absorb some amount of it and then release the rest. The surface temperature increases after absorbing radiation. If there is thermal balance between wall and indoor space, heat transfer starts from outer surface to interior.

Heat load calculation can be complicated. Heat Balance Method is presented by ASHRAE and it is one the most complicated and accurate analysis method for building energy performance analysis. On the other hand, because of the complexity, much more faster and reliable methods as Heat Balance Method are taken in use such as Transfer Function Method. Transfer Function method assumes three principle. Total heating load equals to sum of each heat gain component and it is called superposition principle. Linearity principle says that the thermal response to heat gain change linear regarding to heat load magnitude. Uniformity principle means, the equal heat gains in different times create the same thermal response in the same. Based on these principles, Transfer Function Method is performed with two steps; find the transfer function coefficient and determine heat gains with time series.

Energy simulation regarding to Transfer Function Method help to see night cooling performance in buildings. The night cooling and its efficiency for building energy performance are investigated with hourly analysis programme in the scope of the thesis. Different locations are taken to compare climate zones. Ben Guerir (Morocco) represents dessert climate, Ankara continental climate, Istanbul and Izmir represent mild and humid-mild climate. Weather data for Ben Guerir is 2017 real life data and for the rest programme library data has been taken. To analyze energy demand and usage sample building is considered. There would be no additional building thermal behaviour improvement. The time period is chosen May-October to create clear comparison performance behaviours.

The example building is a residential house with a courtyard for five people. The night cooling is taken in action for living space. Occupant, lighting, electrical equipment and activation profiles are considered based on residential house type. There would be no heat transfer from adjacent spaces. Heat transfer occurs from wall and roof mainly and occupant, electrical heat gain loads come from interior. The wall characteristic is taken

from architectural project. The walls consist of composite soil based material with 0,3 W/mK heat conduction coefficient and wood based insulation bamboo with 0,05 W/mK. The overall U value of the wall is 0,181 W/m<sup>2</sup>K. The roof has wood panel, insulation and proofing layer with overall U value 0,118 W/m<sup>2</sup>K.

The programme used for calculations is Carrier Hap<sup>®</sup> and it has huge usage in building construction sector. The scenerio for night cooling is set based on creating air change in a room 3, 5 and 8 times per hour between 24:00 – 7:00.

To identify benefit of night cooling, the air change of room is considered regardless to wind pressure. The heating and cooling system in the building is air sourced heat pump and two pipe fan coil system. After night cooling implementation electrical usage is changed and cost analysis have been made relating to utilization.

As a result, it is seen that outside temperature difference between night and day time increased the efficiency of night cooling. Calculation shows that Ankara and Ben Guerir have the highest energy saving rates. On the other hand, in Ben Guerir, high temperature may cause unexpected temperature increasing in space and in Ankara cool seasons (May, October) can cause low indoor temperature which is not desired. Therefore automation system can be taken in action for optimasng the night ventilation. Izmir, because of the mild climate, night ventilation has homogenous efficiency and lower than the other locations. Also humidty should be taken as a drawback in Izmir. Istanbul has promising energy efficiency for night cooling. It performs homogenous efficiency to compare with Ankara and Ben Guerir because it has much more mild climate. Day time temperature is not as high as Ben Guerir and night time temperature is not as low as Ankara which allow Istanbul to have certain efficiency during cooling seasons.

Increasing comfort temperature is another aspect to increase night cooling efficiency. The room temperatures is increased from 24°C to 27°C for Ben Guerir and the night cooling efficiency is jump from 8 ACH, %18 - %43 to 8 ACH, %25 - %64. The efficiency improvement is occured due to higher temperature difference between outside and inside air temperature. In Ben Guerir warm months like April and special temperature changes during cooler seanson also allow night cooling application and it might increase yearly benefit of night cooling for desert climate areas.

Based on the calculation it can be claimed that it is not easy to warrant thermal comfort for a space during all day or begining of the usage yet it is highly efficient passive system to decrease energy demand for cooling. Beside residential houses, night cooling can be considered in big complex buildings which have HVAC system. The automation scenerio allows to create night cooling with HVAC system even in existing buildings. For future studies, heat pump COP changes can be integrated to the building energy performance simulations, year based benefit of night cooling and thermal comfort change effect be disscussed for different locations and climate zones.







## 1. GİRİŞ

Sanayi devrimiyle birlikte dünya genelinde üretim, ulaşım, barınma gibi birçok alanda ihtiyaç duyulan enerji miktarında artış görülmüştür. Özellikle bireylerin yaşam tarzındaki değişiklikler ve konfor standartları bu durumu etkilemektedir. Gelişen toplumlar gözlemlendiğinde kişi başına kullanılan enerjinin diğer toplumlara göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Enerji tüketimindeki artış, gelişmişlik düzeyi ile doğru orantılı gibi gözükse de temel enerji kaynaklarının halen fosil yakıt bazlı olması hem çevresel hem de ekonomik olarak tüm dünyayı etkilemektedir [1].

Son yarım yüzyılı ele alacak olursak dönem dönem karşılaşılan enerji krizleri sebebiyle ülkeler alternatif enerji kaynakları aramaya başlamıştır. Enerjide dışa bağımlılığı azaltmak ve doğayı korumak adına çalışmalar yapılmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları önem kazanmış ve bu yönde politikalar geliştirilmiştir. Enerji tüketim alanları incelendiğinde binalarda kullanılan enerji miktarları dikkat çekmektedir. Ülkemizde enerjinin %35 gibi büyük bir kısmı yapılarda ihtiyaç duyulan iklimlendirme sistemlerinde kullanılmaktadır [2]. Farklı iklim bölgeleri incelediğinde ısıtma ve soğutmada kullanılan enerji miktarları değişiklik göstermektedir. Sıcak ve ılıman iklim bölgelerinde genellikle soğutmada kullanılan enerji miktarı yüksek iken kuzey ülkelerinde ısıtmada kullanılan enerji yıllık olarak daha fazladır. Bu durum yapıda tercih edilen sistemlere göre değişiklik göstermekle birlikte yapılan araştırmalara göre farklılaşan mimari tasarım yaklaşımları sebebiyle kuzey ülkelerinde de soğutmada kullanılan enerjinin arttığı belirtilmiştir [3].

İklimlendirme sistemlerinde tüketilen enerjinin azaltılması adına, enerji verimli bina tasarımı popülerlik kazanmıştır. Enerji verimli ekipmanların kullanılması ve tasarımda pasif sistemlere yönelim ile enerji kaynaklarının kullanımı azalacaktır. Aktif sistemlerin, pasif sistemler ile desteklenmesi, enerji tasarrufunu arttıracak, optimum verimlilik ile sistemler çalışırken konfordan da taviz verilmeyecektir [4].

## **1.1 Tezin Amacı**

Pasif, aktif ve hibrit yöntemlerin bina enerji verimliliğinde akılcı kullanılması sonucu binalarda enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. Pasif ve aynı zamanda hibrit bir sistem olarak düşünebileceğimiz gece soğutmasının binaların ısı performansına etkileri örnek bir yapı esas alınarak incelenmiştir. Saatlik ısı performans analiz programının kullanılması ile bina lokasyonuna özgü iklim değerlerinden faydalanılarak kümülatif soğutma enerjisi ihtiyaçları bulunmuş ve mahal sıcaklıkları ısı konfor bağlamında yorumlanmıştır. Gece soğutmasının enerji verimliliğine ve konfora etkilerinin, farklı iklim bölgeleri için analiz edilmesi amaçlanmıştır.

## **1.2 Tezin Kapsamı**

Gece soğutmasının etkileri ilerleyen kısımlarda anlatılacağı gibi iklimsel koşullardan etkilenmektedir. Tezin kapsamı dahilinde Ben Guerir (Fas), İstanbul, Ankara, İzmir için gece soğutması ısı performans hesaplamaları yapılmıştır. Paket simülasyon programı ile saatlik enerji tüketimleri ve iç ortam sıcaklık değerleri hesaplanmıştır. Gece soğutması yapıldığı sırada mahalde hava çevrim katsayısına göre hesaplama yapılmış, rüzgar hızları, çevresel faktörlerden dolayı gelen basınç değişimi ve iç ortam nem oranı gözardı edilmiştir.

## **1.3 Tezin Yöntemi**

Analizlerde 8760 saatlik iklim verileri değerlendirilerek, gece soğutmasına uygun zaman aralığındaki mevcut data kullanılmıştır. Örnek binanın kabul edilen yapı kabuğu programa girilmiş olup, bina yapı kabuğunda harici bir iyileştirme yapılmamıştır. Rüzgar etkisi göz ardı edilerek, ortamdaki havanın bir fan vasıtası ile gerekli çevrim oranlarında sirküle edildiği öngörülmüştür. Daha sonrasında, farklı lokasyonlara göre gece soğutmasının etkileri incelenmiştir. Binanın ısı performansındaki iyileşmeler tartışılarak, elde edilen enerji tasarrufunun kullanıcıya sağladığı maddi karşılığı belirtilmiştir. Paket simülasyon programının yapı sektöründe yaygınlığı ve yapılan araştırmanın farklı projelerde uygulanabilirliği esas alınmıştır.

## 2. GENEL KAVRAMLAR

Artan şehirleşme ile birlikte gelişmekte olan ülkelerde, kentsel alanlardaki binaların sayısı ve büyüklüğü artacaktır. Bu durumun sonucunda binalarda yaygın olarak kullanılan elektrik gücü ve diğer enerji formlarına olan talebin artması anlamına gelmektedir. Gelişmekte olan ülkelerde mevcut enerji altyapısı ile talep edilen enerji arasında çok az bir marj vardır. Artan ihtiyaç, gelecek nesilleri yeni enerji kaynakları aramaya yönlendirecektir. Her ne kadar rüzgar, güneş, jeotermal vb. alternatif kaynaklar kullanılmaya çalışılsa da fosil yakıtlar halen enerji sektöründe önemli bir seçenek olarak bulunmaktadır.

Binalara yapılacak enerji verimliliğine yönelik yatırımlar diğer enerji yatırımlarına göre daha çabuk dönüş sağlayabilecekler için enerji tasarrufunda öncelikli olarak tercih edilebilecek bir yöntemdir. Hızlı büyüme sebebi çabuk geri dönüşler elde etmek enerji yatırımlarında ilk değerlendirme konularından biri haline gelmiştir [5]. Dönemsel bazda ele alırsak Çizelge 2.1' de enerji verimliliğine toplumsal yaklaşımlar açıkça belirtilmiştir [6].

### 2.1 Yapılarda Enerji Verimliliği

Yapılarda enerji verimliliği enerji tasarrufu sağladığı kadar maddi olarak da kullanıcılara kazanç sağlamaktadır. OECD ülkelerinde inşaat faaliyeti nispeten düşük olsa da, enerji tasarrufunda binaların potansiyeli hala büyük bir paya sahiptir. Binaların uzun ömürlü olması bu potansiyelin mevcudiyetini korumaktadır. Binalarda enerji kullanımını aynı zamanda sera gazı emisyonlarını ve fosil yakıtların yanması sonucu ortaya çıkan kirliliği azaltacaktır. Bu çevresel faydayı hem yerel hem de küresel ölçekte izlemek mümkündür. Örnek vermek gerekirse; binaların enerji talebinin büyük kısmı bireysel ısıtma sistemlerinde veya bölgesel ısıtmada kullanılır. Azaltılmış enerji talebi, yerel düzeyde fosil yakıtların tüketilmesini azaltarak hava kalitesini iyileştirir. Diğer yandan enerji talebinde azalma, daha az enerji santrali gerektirir ve başka alanlar için kamu fonları oluşturulmasına, uluslararası hedefler arasında bulunan Çizelge 2.1'de görüldüğü gibi gaz emisyonlarının azaltılmasına yardımcı olur [7].

#### 2.1.1 Enerji Verimli Bina Tasarımı

Enerji verimliliği binada kullanılan enerjide tasarruf sağlarken, verilen hizmetlerin kalitesini korur ve geliştirir.

**Çizelge 2.1 : Toplumsal Olaylar ve Enerji Verimliliği Yaklaşımları [6].**

ZAMAN	Mimari Yaklaşım	Toplumsal Olaylar	Toplumsal Olayların Sonuçları	Binalarda Enerji Verimliliği
20.yy Öncesi	Geleneksel mimari	Sanayi devrimi	Buhar gücü Elektrik şebekesi Makineleşme	Pasif sistemlerin geleneksel kullanımı
20.yy ilk çeyreği	Modernizm	1.Dünya Savaşı Binalarda Asansör Yeni Yapı Malzemeleri	Kombine ısıtmanın ilk adımları HVAC Sistemleri	Yeni sistemlere adapte olma İklimden bağımsız tasarım
20.yy ikinci ve üçüncü çeyreği	Modernizm	2.Dünya Savaşı Nükleer enerji Uzay Teknolojileri Avrupa Ekonomi bankasının kurulması	Savaş sonrası kitlesel üretim Optimizasyon tanımı Solar, jeotermal enerji ve ısı pompası	Sistemlerin entegrasyonu
20.yy 1970-1980	Post-modernizm	1973 Petrol Krizi	İklim odaklı tasarıma geri dönüş Pasif ev prensipleri Bilgisayar Teknolojileri	Enerji tasarruf yöntemleri
20.yy 1980-1990	High-Tech	Ozon tabakasında delinme 1987 Bruntland Raporu Sürdürülebilirlik tanımı Kişisel Bilgisayar Kullanımı	Global gelişme modeli Solar evler Pasif dizayn prensibi Çevre Duyarlılığı	Sürdürülebilirlik ve enerji yönetimi
20.yy 1990-2000	Dekonstrüksiyon	Kyoto Protokolü Avrupa Birliği Yeşil Bina Sertifikasyonu	Çevre duyarlılığı Pasif ev standartları Yaşam döngüsü analizi Enerji simülasyon programları Bütünleşik tasarım Yenilenebilir enerji Akıllı binalar	Farklı enerji kaynaklarını değerlendirme Yenilenebilir sistemlerde verimlilik
21.yy 2000-2010	Sürdürülebilirlik	2002, 2010 AB Enerji Direktifleri	Yeşil bina ve enerji performansı sertifikaları Enerji verimliliği standartları İklim değişikliği senaryoları	Standards Emisyon azaltma Karbon ayak izini azaltma
21.yy 2010-2020	Sürdürülebilirlik	2010 AB Enerji Direktifi Paris Anlaşması	Yüksek verimli bina Net sıfır enerjili bina	Temiz enerji
21.yy 2020 - sonrası	-	-	Pozitif Enerji	Enerji üretimi

Binalardaki enerji verimliliği çalışmaları için seçilebilecek konular arasında; mahal ısıtma ve soğutma ihtiyacının azaltılması, aydınlatmada ve ev aletlerinde daha az elektrik kullanımı, düşük bakım maliyetleri, geliştirilmiş konfor ve ürün özellikleri sayılabilir.

Özellikle gelişen ülkelerde enerji ihtiyacını azaltmak jeneratör gibi stand-by sistemlere olan ihtiyaçları düşürerek bakım ve operasyon maliyetlerini azaltacaktır. Uluslararası çalışmalara bakılarak hazırlanan çalışmada enerji maliyetlerini düşürme ve karbon emisyonunu azaltma adına uygulanabilecek ilk on eylem aşağıdaki Çizelge 2.2’de belirtilmiştir. Çizelgeden de görülebileceği gibi aslında birçok eylem maliyet açısından efektiftir [8].

**Çizelge 2.2 : Enerji Tasarrufuna Yönelik Eylemler [8].**

UYGULANABİLECEK EYLEM	EYLEM MALİYETİ
Enerji tüketimlerinde kullanılan tarifelerin faturalar üzerinden kontrol edilmesi	Maliyet yok
Bakım ve onarım işlerinde enerji verimliliğinin uygulanması	Maliyet yok
İnfiltrasyon kayıplarının elemine edilmesi	Düşük maliyet
Su ısıtma sistemlerinde verimlilik artırılması	Düşük maliyet
İklimlendirme ve havalandırma sisteminde verimliliğin iyileştirilmesi	Maliyet yok / Düşük Maliyet
Aydınlatma sisteminde verimliliğin iyileştirilmesi	Düşük maliyet
Çatı ya da tavan boşluğu izolasyonu	Düşük maliyet
Duvar izolasyonu	Orta maliyet
Mahal ısıtma ve soğutma verimliliğini artırma	Düşük maliyet
Pencerelerde ikili ya da üçlü cam kullanılması	Orta maliyet

### 2.1.2 Yönetmelik ve Standartlar

Bina kodlarının geçmişi çok eskiye dayanmaktadır. Yeni binalara ilişkin bina kodları ya da standartları inşaat güvenliği, yangın güvenliği, kullanıcı sağlığı gibi birçok konuda düzenleme sağlamaktadır. Bu konuyla ilgili yapılan ilk düzenlemelerden biri M.Ö. 20.yy.’de Mezopotamya’da Hammurabi Kanunları olarak karşımıza çıkmaktadır. Toplumun her bölümünü düzenleyen 282 kuraldan 6 tanesi ev yapımı ve inşaatçılar hakkındadır [9].

Bina enerji yönetmelikleri ve standartları, enerji verimliliği ve binalarda kaynak kullanımını için minimum gereksinimleri belirleyen ve düzenleyen araçlardır. Bina enerji kodları genellikle bina teknolojileri için belirli enerji verimliliği seviyesini zorunlu kılar. Başka bir yaklaşım olarak, sonuç odaklı olarak çalışan bina enerji kodları, teknoloji performansı ile uyumludur ve bir bina için bir bütüncül hedef olarak enerji tasarrufu kriterleri sağlar. Bu yönetmelik ve standartlar, ülke ya da eyaletlerce zorunlu hale getirilebilir veya isteğe bağlı kullanılabilirler. Genellikle diğer enerji verimliliğini artırıcı teşvikler ile tamamlanırlar.

Bina enerji koduna dahil edilebilecek bina teknolojileri ve tasarım öğeleri şunlardır;

- Bina kaplamaları
- Isıtma, havalandırma ve iklimlendirme (HVAC) sistemleri
- Aydınlatma
- Kullanım suyu ısıtma sistemleri

Bazı ülkelerde, bina enerji kodları ve enerji verimliliği için standartlar ulusal düzeyde belirlenmiştir. İklimsel farklılıkların büyük olduğu ülkelerde ulusal inşaat kuralları yerel koşullara göre ayarlanmış değerler içerebilir. Bunlara ulusal bina kodları denir. Farklı standartlar, farklı bölgeleri veya iklim koşullarını ve konut veya basit binalar, ticari binalar ve daha karmaşık yüksek katlı binalar gibi farklı bina türlerini kapsar. Bina kodlarındaki enerji verimliliği gereksinimleri, tasarım aşamasında enerji verimliliği konusunda endişelerin giderilmesini sağlayabilir ve yeni binalarda enerji verimliliği için büyük potansiyellerin gerçekleştirilmesine yardımcı olabilir [10].

Yapı sektöründe özellikle dikkat edilen standartlar arasında American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) tarafından hazırlanan ASHRAE Standartları enerji verimliliği, iç ortam kalitesi v.b. birçok konuda değerlendirilmesi gereken minimum seviyeleri belirtmişlerdir. ASHRAE 62.1 iç ortam kalitesi için kabul edilebilecek minimum havalandırma miktarını belirtmektedir [11]. Tez kapsamında ele alınan mahaller için gerekli havalandırma değerleri bu standart dahilinde hesaplanmıştır. Mahalin kullanımına bağlı olarak değerlendirilen termal konfor durumunu, ASHRAE 55 Standartı ile incelemek mümkündür. Gün içerisinde, mahalde kullanımın olduğu zaman aralığı için, iç ortam ısı değerleri ASHRAE 55 standartının belirttiği aralıklar ile kabul edilmiştir [12].



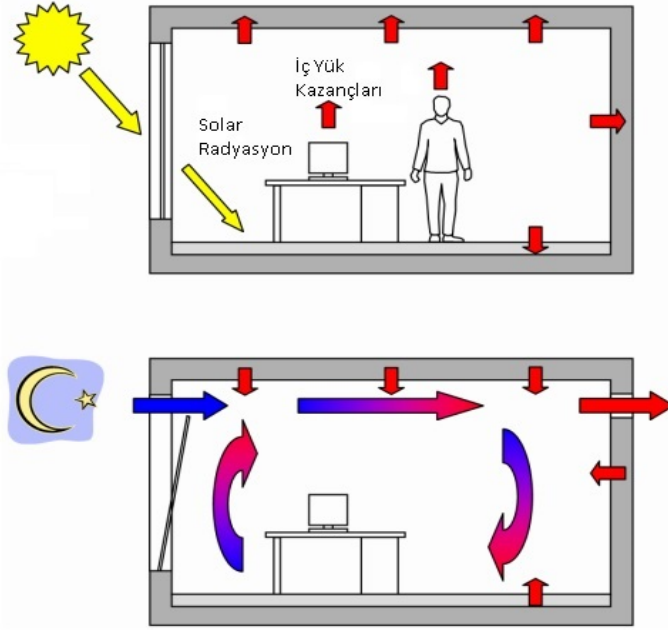
Yapılarda enerji verimliliği ile ilgili olarak takip edilmesi gereken diğer bir standart grubu EN Standartlarıdır. Bu çalışmalar, Avrupa Standartları Komitesi tarafından Binalarda Enerji Performansı Direktifleri (EPBD) şeklinde toparlanmıştır. CEN/TC 89 termal performans ve CEN/TC 156 havalandırma standartları olarak belirtilmiştir [13].

Enerji verimli sürdürülebilir tasarım için tasarımcılar tarafından kullanılan Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE) Guide A, İngiltere'nin yapı yönetmelik ve mevzuatlarını esas alarak araştırmalar ve uygulamalar ışığında çalışmaların daha detaylı ve tutarlı olmasını sağlamaktadır. Toplamda 8 bölümden oluşan bu kılavuz, yapının enerji performans karakteri ve iç ortam kalitesi gibi konularda geniş bir bilgi birikimi sunmaktadır [14].

## **2.2 Gece Soğutması**

Gece soğutması ya da diğer bir tabir ile “Gece Havalandırması” soğutmada kullanılacak enerjiyi azaltan, termal konforu iyileştiren ve iç hava kalitesini geliştiren önemli bir tekniktir. Gece soğutması prensibi temel olarak gün içerisinde yapıda biriken ısıyı serin gece havasını kullanarak uzaklaştırmaya dayanır. Sıcaklık değerleri kontrol edilerek iç ortamdaki daha serin hava mahal içerisinde sirküle edilir ve yapının duvarlarında, döşemesinde ve çatısında bulunan termal kütle yüzeylerinden ısı çekilir [3]. Şekil 2.1’de gün içerisinde depolanan ısının, gece boyunca dış havanın mahal içerisinde sirküle edilmesi ile uzaklaştırılması gösterilmektedir. Bu yöntem sayesinde gün içerisindeki pik mahal sıcaklıklarında 2-3 derecelik sıcaklık düşüşü sağlanabilir. Gün içerisinde konfor seviyeleri daha uzun süreler ile sağlanabilir [11].

Genel olarak solar ve iç yüklerden kaynaklanan ısı yüklerinin maksimum olduğu zamanlar gün içerisinde, öte yandan soğutma yapılması gereken dönemlerde en düşük hava sıcaklıkları gece saatlerinde görülür. Bu sebeple yapının gün içerisinde ısı depolayıp gece saatlerinde hava sirkülasyonu ile dışarı ısı atabilmesi, gece soğutması için en önemli etkenlerden biridir [12].



**Şekil 2.1 :** Gece soğutmasının gün içerisinde çalışma prensibi [3].

Genel olarak solar ve iç yüklerden kaynaklanan ısı yüklerinin maksimum olduğu zamanlar gün içerisinde, öte yandan soğutma yapılması gereken dönemlerde en düşük hava sıcaklıkları gece saatlerinde görülür. Bu sebeple yapının gün içerisinde ısı depolayıp gece saatlerinde hava sirkülasyonu ile dışarı ısı atabilmesi, gece soğutması için en önemli etkenlerden biridir [12].

Gece soğutması için havalandırma doğal yollarla veya fan vasıtası ile yapılabilir. Doğal havalandırma sistemleri için genellikle termosifon etkileri ve rüzgar basınç farkları kullanılır. Bunun yanında iklimsel değişiklikler gün içerisindeki sıcaklık dalgalanması pasif, hibrit bir yöntem olan gece soğutması ile termal konforu garanti etmeyi zorlaştırır [3].

### 2.2.1 İklimin Gece Soğutmasına Etkileri

İklim özellikleri doğal havalandırma ve bununla ilişkili olarak gece soğutması imkanları belirlerken incelenmesi gereken ilk başlıktır. En etkili pasif dizayn yöntemi, ele alınan lokasyona özgü iklim incelendikten sonra seçilerek kullanılabilir. Gece soğutması, sıcak ve kuru günlerin yaşanmasını takiben gelen soğuk gecelerde en verimli şekilde kullanılabilir. Etkili bir gece soğutması yapılabilmesi için düşük bağıl neme sahip kuru hava ile havalandırma yapılması gerekmektedir. Bunun sebebi mahal içerisinde yüksek nem oranlarından ve yoğuşma riskinden kaçınmaktır. Günlük

sıcaklık dalgalanmasının yüksek olduğu, karasal ve çöl iklimine benzer iklimlerde gece soğutmasının son derece etkili olduğu görülmüştür.

İngiltere’de bulunan The Building Service Research Association aşağıdaki kombinasyonların herhangi biri meydana geldiği durumlarda gece soğutmasının başlamasını önermektedir.

- Pik iç ortam sıcaklığının 23°C’i geçmesi
- Ortalama ortam sıcaklığının 22°C’i geçmesi
- Ortalama öğlen dış hava sıcaklığının 20°C’den yüksek olması

Ayrıca, aşağıdaki kriterlerin tümü meydana gelirse gece soğutmasının kullanılmaya devam etmesi gerektiğini belirtmektedir.

- İç ortam sıcaklığı, dış ortam hava sıcaklığından +2°C’den yüksek olması
- İç ortam sıcaklığı, iç ortam sıcaklık set değerinden yüksek ve dış hava sıcaklığı 12°C’den yüksek ise

Gece soğutmasında en önemli faktör sıcaklık dalgalanmasıdır çünkü sıcaklık farkı olmadan termal kütle kullanımı ve yapıda biriken ısının dışarı atılması sağlanamaz [12].

Diğer bir iklim verisi olarak yağmur gece soğutmasında göz ardı edilmemesi gereken bir konudur. Genellikle az yağış alan bölgelerde gece soğutması yapılmakla birlikte yağmurlu bölgelerde gece soğutmasında gerekli önlemler alınmalıdır. Gölgeleme elemanları ya da otomatik kontrollü pencereler bu önlemler arasında düşünülebilir.

Gece soğutması nemli bölgelerde efektif çalışmaz, bunun sebebi düşük sıcaklık farkları ve yüksek nem oranı sebebiyle yoğuşma riskinin oluşmasıdır. Nem konusunda gerekli önlemler alınmalıdır. Sıcaklık kontrolü ya da nem alma sistemleri düşünülebilir ama bu durumda pasif bir yöntem olarak düşünülen gece soğutmasının prensip yaklaşımını zayıflatacaktır [12].

### **2.2.2 Isıl Konfor ve Gece Soğutması**

Gece soğutmasının temel amaçlarında biri iç ortam konforu sağlamaktır. Termal konfor, iç ve dış hava sıcaklığı, nem, hava hızı, ortalama radyant sıcaklık, kıyafet ve aktivite seviyesine göre belirlenen bir kriterdir. ASHRAE ve ISO tarafından termal konfor seviyeleri için belirli aralıklar tanımlanmıştır. Bu aralıklar merkezi sistemleri olan binalar için geliştirilmiş olmasına rağmen genellikle doğal havalandırma yapılan

binalar için de uygulanabilir. Doğal havalandırma yapılan binalarda kullanıcılar daha geniş sıcaklık ve nem aralıklarında konforlu kalabilirler.

Araştırmalara göre insanların çoğunun 21°C ile 27°C arasındaki sıcaklık değerlerini konforlu buldukları belirtilmiştir. Kişinin kütlesi, metabolizması ve kıyafetlerine göre konfor sıcaklıkları değişebildiği için sıcaklık set değerlerinde ortalama bir değer alınması gerekmektedir. Sıcaklık kontrolü, gece soğutması için önemli bir çıkış noktasıdır. Gece soğutmasında dış hava sıcaklığının kontrolünün ve mahale girişinin otomasyonu yapılmadığında dış hava sıcaklıklarına bağlı olarak iç ortam fazla ısınabilecektir. Dış hava sıcaklıklarını önceden tahmin etmek kullanıcıya bırakıldığında bu durumlar ortaya çıkabileceği için sıcaklık ya da zaman kontrollü otomasyon ile gece soğutması optimum bir şekilde yönetilebilir [12].

İç ortam konforu ile ilgili parametrelerin çoğu Ole Fanger'in çalışmalarına dayanmaktadır. Fanger, fiziksel çevre parametreleri, insan psikoloji ve konfor algısı üzerine odaklanmıştır. 1970 yılında yayınladığı "Termal Konfor" tezinde yeni bir disiplin olarak, iç ortamda konfor ve bütünsel sağlık (well being) tanımını yapmıştır. Bu çalışmalar, daha önceki araştırmalara nazaran kıyaslamamın her bir insanın kendisine has özellikleri ile tanıtılmasını sağlamıştır. Ortalama termal duyu (Mean Thermal Sensation) altı adet çevresel ve kişisel parametre çerçevesinde tahmin edilebilmektedir. Bu altı başlık; hava sıcaklığı, ortalama radyant sıcaklık, nem oranı, hava hızı, aktivite seviyesi ve kişilerin üzerinde bulunan kıyafetler şeklinde belirtilmiştir [15].

### 3. LİTERATÜR TARAMASI

Gece soğutmasının pasif bir soğutma stratejisi olması adına birçok inceleme yapılmıştır. Gece soğutmasının iç ortam konforu, evaporatif soğutma ile ortak çalışma verimliliği, gömülü kanallar ya da radyant soğutma ile birlikte değerlendirilmesi gibi konular uygulamalı olarak araştırılmıştır. Bu sayısal ve deneysel çalışmalar gece soğutmasının verimliliği ile ilgili ana parametreleri tanımlamamızı ve bunları iklim parametresi, yapı parametresi, gece soğutması teknik parametreleri gibi başlıklar altında toplamamızı sağlamıştır. İlk çalışmalar gece-gündüz sıcaklık farkını iyi bir gece soğutma potansiyeli olarak göstermiştir. Daha sonrasında Blondeau ve arkadaşları [16] tarafından yapılan çalışmalarda ortalama dış hava sıcaklık aralığının gece soğutmasının iklimsel potansiyelini daha iyi anlattığı sonucuna varılmıştır.

#### 3.1 Uygulama Örnekleri ve Performans Analizleri

Lain ve diğerleri [17] Çekya için yaptıkları çalışmada gece-gündüz sıcaklık farkının genellikle 10°C'den yüksek ve aynı zamanda gece sıcaklıklarının 18°C'den düşük olduğunu belirtmişlerdir. Soğutma sezonunda dış hava sıcaklıklarının genellikle 24°C'den düşük olması sebebiyle gece soğutmasına ek olarak doğal havalandırmanın da pasif sistem olarak kullanılabilmesi dile getirilmiştir. Lain ve diğerleri gece soğutmasını mevcut havalandırma sistemi üzerinden yorumlamışlardır. Kullanıcıların taze hava ihtiyacı, mahalde 2 hava değişimi yapacak kadardır. Yapılan hesaplamalar sonucu 13000 m<sup>2</sup>'lik ofis binasının soğutma ihtiyacında %24'lük bir azalma yakalamışlardır.

Artmann [3] hazırladığı doktora tezinde gece soğutması potansiyelini iklim verilerini baz alarak harici bir yapı parametresi kullanmadan incelemiştir. İklimsel soğutma potansiyelini değerlendirmede derece-saatlik iklim datası farklılıklarını baz alan metod geliştirmiştir. Çalışması sonucu Avrupa'nın büyük bir çoğunluğunda gece soğutması potansiyelinin yüksek olduğunu göstermiştir. Duvar kalınlığı, malzeme özellikleri, ısı transferi, ısı depolama kapasitesi gibi farklı parametrelerin incelenmesinde duvar üzerinde tek boyutlu ısı transferi analitik çözümü yapılmıştır. Faz değiştiren

maddelerin kullanılmasıyla termal kütle özelliklerinin iyileştirilmesi yaklaşık olarak ele alınmıştır. Hesaplama sonuçları ısı transfer katsayısının, ısı depolamada önemli bir parametre olduğunu göstermiştir. İklimsel koşullar dışında, hava debisi, çevrim sayısının gece soğutmasında, termal kütle ve iç yükler kadar önemli bir etken olduğu dile getirilmiştir.

Gece soğutmasında HAD hesaplamalarıyla ilgili analizler Koene ve diğerleri [18] tarafından yapılmıştır ve gece soğutması deneysel sonuçları ile HAD sonuçları karşılaştırılmıştır. Yapıda bulunan pencerelerin gece soğutmasına etkisinde, deney ve hesaplama sonuçları arasında, %30'a yakın fark olduğu ortaya çıkmıştır. Bunların sonrasında HAD hesaplamalarında dikkat edilmesi gereken parametreler tanımlanmıştır.

Çetegen [19], 2002 yılında hazırladığı yüksek lisans tezinde ASHRAE'nin ısı dengesi yöntemini esas alan saatlik ısı performans programı geliştirerek gece soğutmasının etkilerini incelemiştir. Çalışmasında İstanbul, Ankara, Antalya ve İzmir şehirlerine yer vermiştir. Gece soğutmasının konfora olan etkileri tartışılmıştır. Seçilen yöntem ve lokasyonlar açısından, Çetegen tarafından yapılan çalışma bu tez kapsamında karşılaştırma açısından yararlı bir kaynak olarak görülmektedir.

Gece soğutması ve termal kütle ilişkisini inceleyen bir çalışma Yang ve diğerleri [20] tarafından yapılmıştır. Basit bir bina modeli üzerinden termal kütle ve gece soğutmasının saatlik etkileri gözlemlenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre iklimsel veri, soğutma yükleri ve yapının malzeme özelliklerine bağlı olarak termal kütle spesifik olarak seçilmesi gerektiği ve ancak böylelikle optimum verimin sağlanacağı belirtilmiştir. Maragogiannis ve arkadaşları [21] tarafından gece soğutmasının yasalar ve direktifler açısından incelenmesi yapılmıştır. Isıl adaların engellenmesi, yaklaşık sıfır enerjili bina tasarımları, enerji tüketimini azaltma gibi AB tarafından belirtilen direktiflerin, gece soğutması verimliliği çalışmaları ile paralel konuları ele aldığı sonucuna varılmıştır.

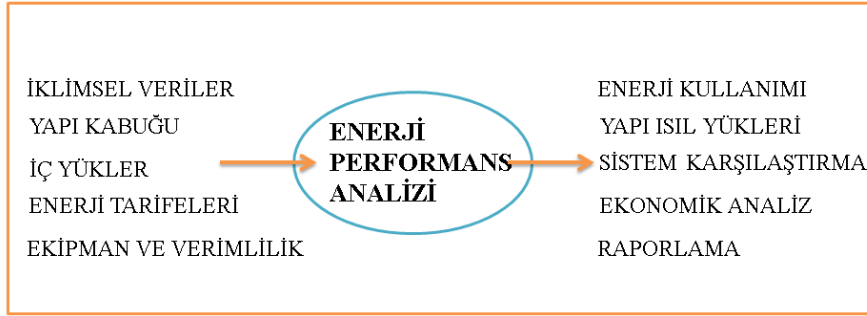
#### 4. ENERJİ PERFORMANS ANALİZİ

Yapıların enerji kullanımını hesaplamada, HVAC sistemlerinin seçimini yapma ve yapının kullanımı sırasında harcanan enerji maliyetlerini belirlemede matematiksel yöntemler kullanılarak binaların ısı yük analizleri yapılır. Hesaplama sonuçlarıyla iklimlendirme ekipmanlarının performansları simül edilerek yıllık enerji kullanımı ve maliyetleri hesaplanabilir. Isıl yük analizi yapabilmek için iklimsel veriler, saatlik iç yük dağılımı, bina kabuk performansı, iklimlendirme sistem seçimi ve performansı ve enerji maliyetleri gibi fiziksel datalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu dataların gerçek durumla ilişkisinin tutarlı olması ısı yük analizinin gerçek değerlere yakınsaması adına büyük önem taşımaktadır. Aksi halde ulaşılan değerler gerekli kapasitelerin üstünde veya altında kalabilir [22].

İklimsel verilerin ölçüm aralığı ve zamanları yapının bulunduğu bölgenin sıcaklık değişimi, nem oranları ve solar radyasyon değerlerini belirlemede büyük önem taşır. İklim verileri bina ısı yüklerini ve iklimlendirme ekipmanlarının verimlerini belirlemede kullanılır. Sıcak, soğuk, kuru veya nemli bölgelerde aynı yapılar için farklı ısı yükler görülebilmektedir. İç yükler yapıdaki mahallerin hangi amaçla ve ne sürelerde kullanıldığıyla ilgilidir. Kişi sayıları, aydınlatma elemanlarının kullanımı ve aletlerin ( televizyon, bilgisayar, elektrikli mutfak ekipmanları, yazıcı vb.) gün içerisinde kullanım düzeninin doğru tayin edilmesi enerji ihtiyacını ciddi oranda etkiler. Yapı kabuğu, iç ve dış ortam arasındaki bariyer olarak görülebilir ve bu katman üzerinden ısı geçişi yapılmaktadır. Yapı kabuğunun ısı geçiş katsayıları ve buhar difüzyonu gibi özellikleri, ısı yükleri belirlemede büyük önem taşır [23].

İklimlendirme sistemlerinde kullanılan cihazların verimleri ve kısmi yük karşılama oranları değişiklik göstermektedir. Binanın yıllık enerji ihtiyacını bulmak için bu cihazlar hakkında detaylı bilgi gerekmektedir. Yapıda kullanılan enerji için ödenilen bedeller enerji kullanım tarifeleri sebebiyle değişiklik gösterebilir. Yüksek enerji kullanım olduğu dönemlerde birim enerji için ödenen miktarlar artmaktadır. Binanın enerji maliyetlerini belirlemede uygun tarifelerin kullanılması bu sebeple önem taşımaktadır [24]. Isıl yük analizi, yukarıda belirtilen dataları kullanarak farklı

matematiksel modeller ışığında binanın ısı performans davranışlarının raporlanmasıdır. Bina ısı yüklerini, enerji kullanımını, ekonomik maliyet analizlerini bu raporlamada bulmak mümkündür. Sonuçlara bakarak sistemler arası karşılaştırma, sistem tayini ve enerji kullanım tahminleri yapmak mümkündür [23]. Şekil 4.1’de yapılarda enerji performansı incelemesi sırasında kullanılması gereken bilgiler ve analiz sonucu yorumlayabileceğimiz sonuçlar gösterilmektedir.



**Şekil 4.1** : Enerji performans analizinde girdi ve çıktılar

#### 4.1 Yapılarda Soğutma Yüğü Hesaplanması

Isı, şartlandırılmış bir mahale dış ya da iç kaynaklardan gelse de mahalde oluşan ısı kazanımı iki şekilde anlatılabilir; taşınım ve ışı nım ısısı. Güneş’ten gelen radyasyon bir duvar yüzeyine çarptığı zaman ışı nım ısısının çoğu duvar tarafından emilir kalan kısmı ise yansıtılır. Radyasyonun emiliminden sonra duvar dış yüzeyi sıcaklığı artar. Eğer başlangıçta duvar ve iklimlendirilmiş zon arasında ısı bir denge varsa dış yüzeyden içerideki havaya ve katmanlara doğru taşınım ve ışı nım ısı geçişi başlar. Ortamda konforu sağlamak adına soğutma yüklerini karşılayacak sistemlerin seçilmesi gerekecektir. Bu yükleri genellikle iki başlık altında toplayabiliriz; iç yükler ve dış yükler [25].

Dış yükler;

Bu yükler, şartlandırılmış alandaki dış kaynaklardan, bina zarfından veya bina kabuğundan ve bölme duvarlarından ısı kazanımları nedeniyle oluşur.

- Dış duvarlardan ve çatılardan giren ısı kazanımı
- Fenestasyonlarla iletilen güneş ısısı kazancı
- Fenestasyonlardan gelen iletken ısı kazancı
- Bölme duvarlarından ve iç kapılardan giren ısı kazancı
- Dış ortam havasının şartlı alana sızması



İç Yükler;

Bu yükler, şartlandırılmış alan içindeki ısı kaynaklarından duyulur ve gizli ısının serbest bırakılmasıyla oluşturulur. Bu kaynaklar iç soğutma yüklerine katkıda bulunur.

- Kullanıcılar
- Aydınlatma
- Ekipman ve ev aletleri

Yapının kendisi üzerinden ve mobilyalardan nem aktarımı hariç tutulursa, yalnızca infiltrasyon, kullanıcılar, ekipman ve cihazların hem duyulur hem de gizli soğutma yükleri vardır. Kalan bileşenler yalnızca duyulur soğutma yüklerine sahiptir. İklimlendirilmiş mahale giren tüm duyulur ısı infiltrasyonunu hariç tuttuğumuzda radyasyon ve konvektif yolla giren ısıyı temsil eder. Radyasyon ısısı yapı kabuğunda ısı tutumuna sebep olur ve daha sonrasında soğutma yükü olarak hesaplanması gerekir. Bu durum analizi karmaşık hale getirmektedir. Gizli yükü, kullancılardan, ekipmanlardan veya infiltrasyonla gelen nemden kaynaklanan ısı yüküdür. Nem yoluyla ısı depolama etkisi ihmâl edilirse mahal ve hava arasındaki ısı transferi ani soğutma yükü olarak karşımıza çıkar [25].

Soğutma yüklerinin hesaplanmasında farklı yaklaşımlar kullanılmaktadır. Bu tez kapsamında Isıl Denge Metodu'ndan türetilmiş Transfer Fonksiyonu Metodu kullanılacaktır.

#### **4.2 Transfer Fonksiyonu ve Saatlik Isıl Yük Analizi**

Enerji simülasyonu yük hesaplamalarında Transfer Fonksiyonu Metodu kullanılabilir. Isıl hesaplama yukarıda bahsedilen yüklerin değerlendirilmesi uzun ve kompleks olabilmektedir. Isı Dengesi Yöntemi ( Heat Balance Method ) ASHRAE tarafından sunulan ısı transferi hesaplamalarında kullanılan en kapsamlı ve tutarlı analiz yöntemidir. Bu yöntem bir yapıda meydana gelen her bir iletim, taşınım, radyasyon ve ısı depolama işlemini, ısı transferi ve termodinamik temel yasalarını kullanarak değerlendirir. HBM'de kullanılan denklemler, bir mahaldeki her düğüm noktası için mahalle ilişkili bir yüzey veya kütle bileşenini temsil ettiği şekilde yazılır [26].

Isı dengesi sadeleştirilmiş şekliyle birim parçacık için denklem (4.1)'deki gibi ifade edilebilir.

$$Giren Isı - Çıkan Isı = Depolanan Isı \quad (4.1)$$

Yüzey katmanındaki sınır tabakasının bir kütlesi olmadığı için ısı depolaması mümkün olmayacak ve böylelikle denklem (4.2)'deki şeklini alacaktır.

$$Giren Isı - Çıkan Isı = 0 \quad (4.2)$$

Her düğümde, içeri alınan ve dışarı atılan ısı miktarını tanımlamak için tüm taşınım, iletim ve ışıınım işlemlerinin temsil edilmesi gerekir. Tipik olarak bunlar, diferansiyel ısı transfer denklemleri veya bu denklemlerin lineerleştirilmiş formlarını alır. Bir mahal için tüm ısı dengelerini aynı anda çözerek, oda havasına aktarılan toplam ısı taşınım hızı belirlenebilir ve mahal yükü tanımlanabilir.

Yapılan analiz sonuçları ısı kazanımı kaynaklarını ve mahalın özellikleri tanımlayan girdilere bağlı olarak oldukça doğru sonuçlar verebilir. Her ne kadar doğru sonuçlar veriyor olsa da çok detaylı ve yoğun işlemler yapması sebebiyle HBM kullanılmasında zorluklar çıkmaktadır. Bu sebeple HBM'den devşirilen metotlar daha çabuk hesaplama yapabilecek ve gerçeğe yakın sonuçlar verebilecek yaklaşımlar geliştirilmiştir.

Trasfer Fonskiyonu Metodu (TFM) ilk olarak 1967'de Kanada Ulusal Araştırma Konseyi için çalışan iki araştırmacı tarafından "Tepki Faktörü Prensibi" ilkesine dayandırılarak sunulmuştur. Belirli bir mahal için her bir spesifik ısı kazanım türü için ısı tepki modellerinin her zaman aynı olacağını belirtir. Isıl tepki modelinden kasıt ısı kazancının belirli bir süre boyunca yüke dönüşmesidir. Yüklerin boyutları farklılık gösterecek ancak yük dönüşüm modelinde ısı kazancı aynı olacaktır. Tepki faktörü ilkesi aşağıdaki üç prensibe dayanmaktadır;

- Süperpozisyon Prensibi: Toplam oda yükü, her bir ısı kazancı bileşeni için ayrı ayrı hesaplanan yüklerin toplamına eşittir.
- Lineerlik Prensibi: Isı kazanımına verilen ısı cevabın büyüklüğü, ısı kazancının büyüklüğüne göre doğrusal olarak değişir.
- Değişmezlik Prensibi: Farklı zamanlarda meydana gelen eşit büyüklükte iki ısı kazanımı, mahalde aynı ısı tepkiye neden olur.

TFM ile, bir odadaki her bir ısı kazancı bileşeni için yükü ısı kazanımı ve zamanın bir fonksiyonu olarak tanımlayan genel bir matematiksel ilişki belirlenir. Bu ilişki daha sonra her bir saat için yükleri hızlıca hesaplamak için kullanılır. Burada zamana bağlı

olarak  $n\delta$  anında,  $\theta_{i,n\delta}$  iç duvardan olan ısı akısıdır ve  $T_{i,n\delta}$ ,  $T_{e,n\delta}$  yüzey sıcaklıkları,  $X_n$  ve  $Y_n$  de anlık tepki faktörleridir [27].

$$\theta_{i,n\delta} = \sum_{k=0}^n (X_n \cdot T_{i,(n-k)\delta} - Y_n T_{e,(n-k)\delta}) \quad (4.3)$$

Oda Transfer Fonksiyon denklemi 2 saatlik data hesaba alınacağı zaman, yükler üzerinden konuşmak gerekirse (4.3) denklemi, denklem (4.4)'deki halini alır.

$$Q_2 = v_0 \cdot q_0 + v_1 \cdot q_1 + v_2 \cdot q_2 - w_1 \cdot Q_1 - w_0 \cdot Q_0 \quad (4.4)$$

Denklem 4.3'de yükler  $Q$  ile ifade edilir ve esas alınan saate göre alt indisleri belirtilir. Aynı denklemde  $q$ , ısı kazancını simgeler. Diğer  $v_0$ ,  $v_1$ ,  $v_2$ ,  $w_1$ , ve  $w_2$  notasyonları transfer fonksiyonu katsayılarını belirtmektedir. Bu katsayıların değerleri, her bir ısı kazanımının bir yüke dönüştürülmesinde yer alan farklı ısı transfer işlemlerinden dolayı, her bir ısı kazancı türü ve oda için değişmektedir. ASHRAE, farklı ısı kazanımı bileşenleri, oda tipleri ve bina ağırlıkları için bu katsayıların tablolarını yayınlamıştır.

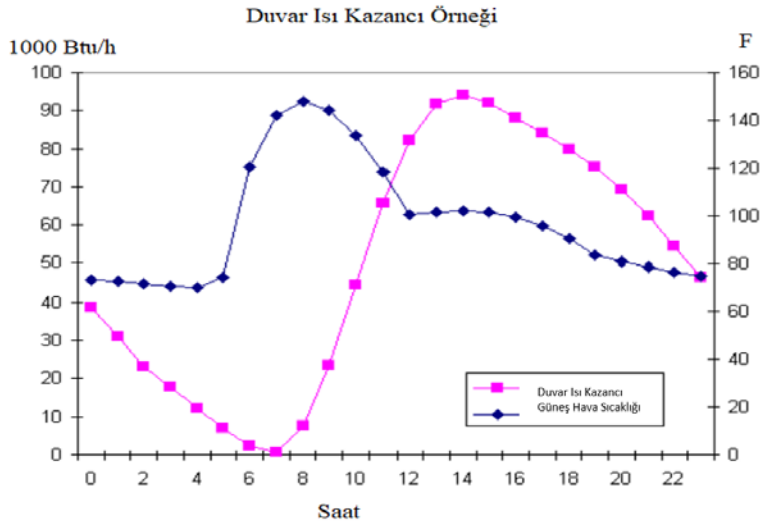
Verilen bilgilerden yola çıkarak kısaca TFM, geçerli saat için yükün ( $Q_0$ ) mevcut ve önceki iki saat için kazanılan ısı kazancının bir fonksiyonu olduğunu ve önceki iki saat için yüklerin bir fonksiyonu olduğunu söyler. Önceki iki saat için yüklerin kendisi önceki saatler için bir dizi ısı kazancına bağlı olduğundan, hesaplama yapılan saatin yükü kendinden önceki saatlerden elde edilen ısı kazançlarının etkilerine bağlıdır [26]. Isıl yük hesaplamada öncelikle TFM katsayıları bulunmalıdır. Sonrasında ısı kazancı hesaplamada iki basamak uygulanır; ısıl kazançları saatlik seriler halinde belirleme ve TFM katsayılarını Oda Transfer Fonksiyonu'nda Denklem (4.3)'de görüldüğü gibi yerleştirme. Yapıda bulunan her bir bileşen için soğutma yükleri aşağıdaki başlıklarda belirtildiği gibi hesaplanabilmektedir.

#### Duvar ve Çatıdan Gelen Isı İletim Yükleri

Duvar ve çatı aktarma yükleri, duvar veya çatının dış yüzeyine gelen güneş radyasyonu ve iç ve dış hava arasındaki sıcaklık farkından dolayı bir duvar veya çatıdan aktarılan ısyı hesaba katar. Gün-hava sıcaklığı (sol-air), dış hava sıcaklığı ve duvar veya çatıya gelen toplam solar akı kullanılarak hesaplanır. Soğutma tasarım hesaplamaları için tasarım sıcaklık profilleri ve açık gökyüzü solar akı profilleri kullanılır [26]. Bu hesaplama denklem (4.5)'de belirtildiği gibidir.

$$T_{sa} = T_{oa} \cdot \frac{a \cdot l_t}{h_o} - e \cdot \frac{DR}{h_o} \quad (4.5)$$

Analiz edilen duvar veya çatı konstrüksiyonu için iletken transfer fonksiyon katsayılarını elde edilir. Kullanıcının duvar veya çatı konstrüksiyonunun spesifikasyonuna dayanarak, uygun transfer fonksiyon katsayıları hesaplama programı tarafından otomatik olarak türetilir ve her farklı yapının spesifik termal performansı program tarafından analiz edilir. Gün-hava sıcaklığı ile iletim transfer fonksiyonu katsayısı (U değeri) birlikte ısı iletim denkleminde duvardan ve çatıdan gelen ısı enerjisini bulmak için hesaba katılır. Bulunan bu değer uygun TFM katsayıları ile kullanılarak mahale gelen çatı ve duvar ısı yükleri bulunur [26]. Şekil 4.2 de duvar yüzeyinde oluşan Gün-hava (Sol-air) sıcaklık değeri ve duvardan gelen ısı yüklerinin oluşumu gösterilmektedir.



**Şekil 4.2 :** Duvardan gelen ısı kazancı üzerindeki gecikme [23]

#### Pencereden Gelen Solar Yükler

Pencerelerden gelen soğutma yükleri, pencereden dış ortam ve iç ortam arasındaki ısı geçişinden gelen yük ile pencerenin cam kısmından geçen solar radyasyonun absorbe edilip depolanmasından kaynaklanan yüklerin toplamından oluşur [26].

Gölge elemanı var ise her saat için yaptığı gölgeleme hesaplanmalıdır. Isı kazancı hesabı referans cama göre solar profilleri ile başlar. Sonrasında ASHRAE göre absorbe edilen ve iletilen ısı kazançları ve toplam ısı kazancı hesaplanır.

$$TSHG = [TSHGFb.(1 - Fs) + TSHGFd].(SC).(A) \quad (4.6)$$

TSHG iletimi gerçekleştirilen ısı kazancı ve ASHG de absorbe edilen ısı kazancı temsil etmektedir.

$$ASHG = [ASHGFb.(1 - Fs) + ASHGFd].(Ni).(SC).(A) \quad (4.7)$$

Toplam solar kazanç denklem (4.6) ve denklem (4.7) toplanması ile denklem (4.8)'deki gibi bulunur.

$$SHG = TSHG + ASHG \quad (4.8)$$

Tasarım soğutma hesaplamaları için açık gökyüzü güneş ısı kazancı verileri kullanılır. Toplam güneş kazancı (SHG), TFM içerisinde uygun katsayılar ile birlikte hesaplanır. İç gölgeme elemanlarının kullanıldığı durumlarda farklı transfer fonksiyonu katsayıları kullanılır. Bu durumun sebebi mahalde kullanılan panjur ya da perde gibi elemanların güneş ışığını tutarak duvar ya da döşeme gibi elemanlara göre daha hızlı iç ortama aktarmalarıdır. Sonuç olarak iç gölgeleme elemanlarının, gölgesiz pencerelere göre solar kazanımları daha çabuk ısı yüküne çevirdiği gözlemlenmiştir [26].

#### Pencereden Gelen Isı İletim Yükleri

Pencere iletim yükleri, iç ve dış hava arasındaki sıcaklık farkından dolayı pencerelerden ısı akışının sonucudur. Hesaplamalarda pencere camının, pencere çerçevesinin ve iç gölgeleme cihazının ısı akışına karşı toplam direncini dikkate alınır. Pencerelerden olan ısı iletim denklem (4.9) kullanılarak hesaplanır.

$$q = U.A.(T_{oa} - T_r) \quad (4.9)$$

Daha sonrasında transfer fonksiyonunda uygun katsayılar ile TFM'e eklenir [26].

#### Kapı Isı İletim Yükleri

Yapıda kullanılan kapılarda cam var ise denklem (4.6), (4.7), (4.8) ile solar radyasyon yükleri hesaplanır. Kalan kısımları için ise düşüklüğü depolama kapasitesinden dolayı denklem (4.9)'daki gibi ısı iletim yükleri bulunur. Daha sonrasında uygun katsayılar ile çarpılarak TFM'e eklenir [26].

### Ara Bölme Isı İletim Yükleri

Referans mahale komşu iklimlendirilmemiş mahaller ya da referans mahal ile komşu mahal arasında sıcaklık farkı var ise iki mahal arasında ısı geçişi olacaktır. Bu ısı geçişi denklem (4.10) ile hesaplanır ve uygun katsayılar ile çarpılarak TFM'e eklenmesi gereken yükler bulunur. Kullanılan hesaplama programında bu ara bölmeler duvar ya da tavanda bulunabilir ve lineer olacak şekilde iç hava sıcaklıklarında gün içerisinde değişiklik tanımlanabilir [26].

$$q = U.A.(T_{adj} - T_r) \quad (4.10)$$

### Döşeme İletim Yükleri

Zemin iletim yükleri, koşulsuz veya kısmen şartlandırılmış bölgelere bitişik olan veya toprakla temas eden zeminlerden geçen ısı akışı nedeniyle oluşur. Döşeme, iklimlendirilmiş bir mahalin üstünde bulunabilir ve ısı geçişi tanımlanmaz. İklimlendirilmemiş bir mahalin üstünde bulunduğu denklem (4.10) kullanılarak hesaplama yapılır. Döşeme toprağa oturabilir ya da hem döşeme hem de yan duvarlar toprağın altında bulunabilir. ASHRAE'nin yaptığı önerilere göre döşeme ya da bodrum katlardan gelen yükler soğutma yükü bulmada ihmal edilebilir. Kullanılan saatlik analiz programında ısı kazançlar denklem (4.11)'e göre bulunur. Transfer fonksiyonu katsayıları kullanılmadan direk yüke çevrilir [26].

$$q_f = P.(T_{oa} - T_r) \cdot \frac{k_{soil}}{\pi} \cdot \left[ \ln\left(\frac{1}{h_0} + \frac{\pi W}{k_{soil}} + R_f + R_{si} + R_s\right) - \ln\left(\frac{1}{h_0} + R_f + R_{si} + R_s\right) \right] \quad (4.11)$$

### Aydınlatma Yükleri

Aydınlatma ısı, aydınlatma gücü, balast çarpanı (kullanılıyorsa) ve saatlik aydınlatma planı gibi kullanıcı özelliklerinden belirlenerek denklem (4.12)'deki gibi hesaplanır. Seçilen aydınlatma elemanına uygun katsayılar kullanılarak transfer fonksiyonuna dahil edilir [26].

$$q = K.Pl.BM.Fs/100 \quad (4.12)$$

### Elektrikli Ekipman Yükleri

Ekipman ısı kazancı, doğrudan kullanıcının ekipman güç tüketim spesifikasyonundan ve saatlik program faktöründen belirlenerek denklem (4.13)'deki gibi hesaplanır.

$$q = K.Pe.Fs/100 \quad (4.13)$$

Ekipman ısı kazancından kaynaklanan yük, taşınım ve ışıma olarak iki ayrı bileşende hesaplanmalıdır. Elektrikli ekipman ısı kazanımının taşınım ve ışıma oranları, değerlendirilen ekipman tipine göre değişir. 2001 ASHRAE Fundamentals Handbook verilerine göre elektrikli ekipmandan gelen soğutma yükünün %75'inin taşınım ve %25'inin ışıma olduğunu varsayılmaktadır. Yük profili, ısı kazancı profilinden farklıdır, çünkü ısı kazancının bir kısmı, ısı kazanımının meydana geldiği zaman ile bir soğutma yüküne dönüştürüldüğü zaman arasında bir zaman gecikmesine neden olacak şekilde yayılır.

#### Kullanıcılardan Kaynaklanan Isıl Yükler

İnsanlar için duyulur ısı kazancı, doğrudan kullanıcının, kişi başına düşen ısı kazancı, alan maksimum doluluk oranı ve saatlik planlama faktörleri konusundaki spesifikasyonundan yola çıkarak denklem (4.14)'deki gibi hesaplanmaktadır:

$$q = HG.O.Fs/100 \quad (4.14)$$

İnsanlardan gelen duyulur ısı yükleri ışıma ve taşınım olarak iki ayrı şekilde ele alınmalıdır. Yapılan çalışmalar insanlarda gelen ısı kazancının %26 ile %34 arasında konvektif olduğunu göstermiştir. ASHRAE %30 konvektif ve %70 radyant olarak değerlendirilmesini önermektedir. Konvektif kısım direk olarak yüke dönüşürken, radyant kısım için uygun transfer fonksiyonu katsayıları ile TFM denkleminde hesaplanmalıdır [26].

#### Değişken Duyulur ve Gizli Yükler

Mahalde oluşabilecek değişken yükler transfer fonksiyonundan bağımsız olarak hesaplanarak soğutma yüküne eklenir. Duyulur ısı kazancı %100 konvektif olarak ele alınır, gizli ısı da ani yük olarak değerlendirilerek sisteme saatlik etki olarak katılır.

#### İnfiltrasyon Yükleri

İnfiltrasyon yükleri, iklimlendirilmiş mahale kontrolsüz dış hava girişiyle oluşmaktadır. Mahalde olan hava değişimi direk olarak mahalin soğutma yükünü

etkiler. İnfiltrasyon yükleri bulunurken transfer fonksiyonu uygulanmasına gerek yoktur. İnfiltrasyon havası için mahalın hava değişim oranına ya da birim alandan olan sızıntıya göre hesap yapmak mümkündür. Denklem 4.15’de hava değişim oranına göre dış ortamdaki gelen havanın debisi hesaplanmaktadır. İnfiltrasyon mahalın kullanımında olup olmamasına göre de kontrol edilebilir. Bu basınç dengeleriyle de alakalıdır.

$$V_i = HDO \cdot Af \cdot h \quad (4.15)$$

İnfiltrasyondan gelen yükler gizli ve duyulur yüklerdir. Aşağıda bulunan Denklem 4.16 ve 4.17’de infiltrasyondan gelen yükler belirtilmektedir.

İnfiltrasyon duyulur ısı hesabı

$$Q_s = ra \cdot C_{pa} \cdot V_i \cdot K \cdot (T_{oa} - T_r) \quad (4.16)$$

İnfiltrasyon gizli ısı hesabı

$$Q_l = ra \cdot h_{fg} \cdot V_i \cdot K \cdot (w_{oa} - w_r) \quad (4.17)$$

Transfer fonksiyonu bu başlık altında verilen prensiplere göre hesaplanan bir ısı yükü hesaplama yaklaşımıdır. İlk bakışta karmaşık bir yaklaşım olarak görülebilir. Transfer fonksiyonunda en önemli kısım yapılan matematiksel modellemelerde uygun katsayıları kullanılmaktadır. Transfer fonksiyonu katsayıları, elle hesaplanmak yerine tez kapsamında da olduğu gibi simülasyon programlarıyla bulunabilir. Sonrasında elde edilen sonuçlar yapıda bulunan her bir bileşen ya da sistemin incelenmesinde ve verimliliğinin geliştirilmesinde kullanılabilir [26].



## 5. METODOLOJİ

Bir binada, gece soğutmasının verimliliğe olan etkilerinin incelenmesi için öncelikle yapının ısı performansının analiz edilmesi gerekmektedir. Isıl performans analizinin TFM yaklaşımı ile nasıl bir yol izlenerek yapılacağı bir önceki bölümde anlatılmıştır. TFM ile yapılacak mühendislik hesaplamalarında paket programlar kullanılmaktadır [25]. Paket programların içinde iklim verileri, belirli yapı malzemeleri için hazır spesifikasyonlar bulunmaktadır. Bunun yanı sıra paket programlar, binanın yapısal formuna bağlı (duvar, pencere, çatı alanları v.b.) bilgileri kolaylıkla girebilme imkanı ve binada kullanılacak sistemleri tayin edip enerji simülasyonun sonucu olarak raporlama fırsatı verebilmektedir. Bina enerji modellemesi ve HVAC sektöründe geniş bir kullanımı olan, TFM ile ısı yük ve enerji simülasyonu analizi yapabilen Carrier HAP® programı bu çalışmada hesaplamalar için kullanılmıştır [28].

Bu tez kapsamında gece soğutmasının performansı örnek bir yapı üzerinden incelediği için, esas alınacak binanın duvar, pencere, çatı gibi yüzey alanları, kullanılacak mazerelerin spesifikasyonları programa girilecektir. Gece soğutmasının farklı iklim bölgelerindeki verimlerini karşılaştırırken İstanbul, İzmir ve Ankara'nın iklim verileri HAP'ın kütüphanesinden alınacaktır. Ben Guerir için dış hava sıcaklık verileri 2017 yılının ölçümlerinden alınacak ve güneş etkisi HAP'ın kütüphanesinde bulunan Marakeş'e göre kabul edilecektir. İç ortam sıcaklığının gece soğutması performansına etkisi Ben Guerir için yapılan çalışmada incelenecek ve iç ortam set değeri program üzerinden ayarlanacaktır. Gece soğutmasının etkileri Mayıs – Ekim ayları arasında incelenecektir. Bu zaman aralığının seçilme sebebi tez kapsamında incelenen coğrafyaları aynı kriterler ile karşılaştırabilmektir [26].

### 5.1 Hipotez

Gece gündüz sıcaklık farkından faydalanarak gecenin serin dış ortam havasını, örnek bir mahal içerisinde farklı çevrim oranlarında sirküle ederek binanın yapı kabuğunda depolanmış ısının atılması ve gece serinliğinin iklimlendirilecek mahale alınması mümkündür. Bu durum dış hava sıcaklıklarına ve ısı yük çeşitlerine bağlı olduğu için

iklim özelliklerinden etkilenmektedir. Konfor sıcaklığının değişmesi ile gece soğutmasının verimi de değişecektir. Bu önermeler transfer fonksiyonu kullanan saatlik ısı analiz programı ile hesaplanabilir.

## 5.2 Hesaplama Programı ve Veri Girişi

Gece soğutması etkilerini bulmak için konut olarak kullanılan bir yapı seçilmiştir ve bu yapının salonunda gece soğutması yapılması kararlaştırılmıştır. Evi, 5 kişi kullanmaktadır. Mahaldeki insan sayısının gün içerisindeki dağılımı değişmektedir. Mahal içerisindeki aydınlatma ve elektrikli ekipmanlardan gelen ısı kazançlar ve dağılımları konut profilini yansıtacak şekilde belirlenmiştir. Duvar, çatı ve pencere alanları örnek mimari üzerinden programa girilmiştir. Komşu mahallerden oda tarafına ısı geçişi ön görülmemiş, ıslak hacim ve güneş görmeyen duvarlara komşu alanlar iklimlendirilmemiş alan olarak değerlendirilmiştir. Bu mahal ve alanlara bakan duvarlardan ısı taşınımı ile ısı kazanç olduğu Denklem 4.10'daki haliyle hesaplanarak programda analiz edilmiştir. Döşemenin toprak üzerinde hafif malzemeyle yapıldığı ve ısı tutuculuğunun olmadığı ön görülmüştür, tezin ısı yük analizi kısmında döşemeden gelen soğutma yüklerinin yok sayılabileceği de belirtilmiştir [26].

Duvar ve çatılarda kullanılan malzemeler mimari elemanlar esas alınarak programa girilmiştir. Duvarda kullanılan paneller kompozit toprak ve izolasyon malzemesi olarak kargı çubuklarından oluşmaktadır. Kompozit toprak yapının özellikleri Kafescioğlu'nun [29] alker çalışmalarına dayandırılarak değerlendirilmiş ve Çizelge 5.1'de belirtilmiştir.

**Çizelge 5.1 : Duvar Katmanları [26].**

Yapı Elemanı	Kalınlık (cm)	Isı iletim katsayısı $\lambda$ (W/mK)	Özgül Isı Değeri Cp (kJ/kgK)	Yoğunluk $\rho$ kg/m <sup>3</sup>
Kompozit Toprak	5	0,3	1,25	1600
Kargı İzolasyon	25	0,05	0,84	100
Kompozit Toprak	5	0,3	1,25	1600

Yukarıda verilen bilgilere göre duvarın U değeri  $0,181 \text{ W/m}^2\text{K}$  olarak belirlenmiştir. Ayrıca çatının U değeri de Çizelge 5.2'deki bilgiler ışığında  $0,118 \text{ W/m}^2\text{K}$  olarak hesaplanmıştır bu değerler programın kütüphanesinden alınmıştır [26].

**Çizelge 5.2 : Çatı Katmanları [23].**

Yapı Elemanı	Kalınlık (cm)	R-Değeri ( $\text{m}^2\text{K/W}$ )	Özgül Isı Değeri $C_p$ (kJ/kgK)	Yoğunluk $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )
Ahşap Panel	5	0,43	1,21	545
Izolasyon	15	7,22	0,92	32
Kaplamalar	10	0,61	1,47	1121

Mahalin kullanımı sırasında ASHRAE 62.1 Standartı [30] konut özelliklerine uygun taze hava debisi sisteme eklemiştir. Mahalin fiziksel ve kullanımsal verilerinin girilmesinden sonra analizleri yapmak için binada kullanılacak sistem tanımlanmalıdır.

### 5.2.1 Gece soğutmasının sisteme eklenmesi

Carrier Hap programında ısıl performans analizi yapabilmek için binaya hizmet eden HVAC sistemi olarak hava kaynaklı ısı pompası ve fan-coil ön görülmüştür. Isı pompası gerekli soğutma enerjisini suya aktaracak ve mahalde bulunan fan-coiller vasıtasıyla ortam iklimlendirilecektir. Fan-coil ve ısı pompasının genel sistem verimlilik analizi tez kapsamında detaylı incelenmemiş, ısı pompasının COP değeri genellikle ticari klimalarda kabul edilebilecek değer olarak 3 alınmıştır [31]. Mahalde saat 8 ile 12 arasında iklimlendirme yapılacağı ön görülmüştür. Mahalin set değeri  $24^\circ\text{C}$ 'dir. Ortama verilmesi gereken taze havanın doğal havalandırma ile sağlanacağı belirtilmiştir.

HAP programında, gece soğutmasını inceleyen spesifik bir başlık olmadığı için programın kurgusunu gece soğutmasına yönelik ayarlamak gerekmektedir. Gece soğutması, dış ortam havasının mahalde farklı oranlarda hava değişimi yapması olarak ileri sürüldüğü için infiltrasyon sekmesinde hava değişimi olarak tanımlamak ve sadece termostatın aktif olmadığı zamanlarda gerçekleştiği senaryosu ile hareket

etmek  $24^{00} - 7^{00}$  saatleri arasında gece soğutması imkanı sağlayacaktır. Şekil 5.1'de saatlik analiz programı içerisinde gece soğutmasının 8 çevrime göre nasıl girildiği görülmektedir [26].

Space Properties - [8 CEVRIM LIVING ROOM]

General | Internals | Walls, Windows, Doors | Roofs, Skylights | Infiltration | Floors | Partitions

Enter infiltration rate in any column:

	L/s	L/(s·m <sup>2</sup> )	ACH
Design Cooling	160,00	3,68	8,00
Design Heating	160,00	3,68	8,00
Energy Analysis	160,00	3,68	8,00

Infiltration occurs:  Only When Fan Off  
 All Hours

OK Cancel Help

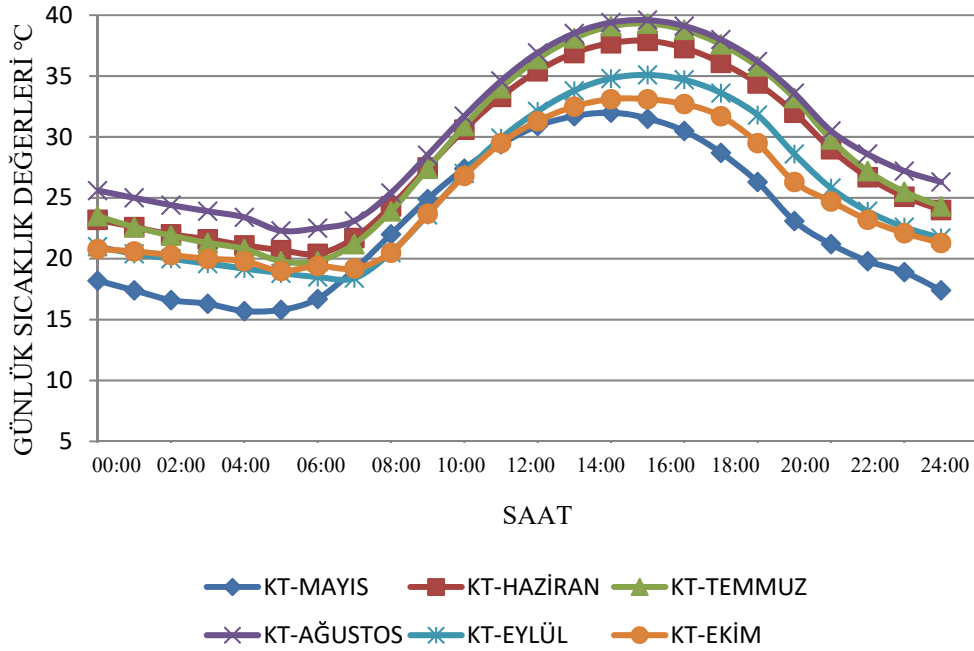
Şekil 5.1 : HAP infiltrasyon ile gece soğutması hesabının programa tanımlanması.

## 5.2.2 Farklı iklim bölgelerinin incelenmesi

Tez kapsamında seçilen lokasyonların farklı iklim bölgelerinden olması tercih edilmiştir. Ben Guerir kısmen çöl ikliminde bulunmaktadır. Ankara karasal iklim, İstanbul dört mevsimin net olarak gözlemlendiği ılıman iklim ve İzmir de ılıman-sıcak iklim bölgesi olarak değerlendirilebilir. Aynı yapının incelenmesi ile iklim koşullarının gece soğutması performansını nasıl etkilediği net bir şekilde görülebilecektir. Gece soğutmasının ısı performansın yanı sıra konfora olan etkileri de incelenmiştir. Çöl iklimi için, 27 °C iç ortam koşullarında sistemin performansı ve iç hava sıcaklıkları ayrıca irdelenmiştir. Her ne kadar yıl boyunca yapılan analizler daha genel bir yorum yapılmasına olanak sağlasa da farklı iklim bölgelerinin karşılaştırılması nedeniyle dış hava sıcaklıklarını optimum şekilde karşılayacak bir dönem aralığının seçilmesi gerekmektedir. Bu konseptten yola çıkarak dış hava sıcaklıklarının çok düşmediği, geçiş mevsimlerini de içine alan Mayıs-Ekim ayları arasında kalan dönem analizlerde kullanılmıştır.

### 5.2.2.1 Ben Guerir (Fas)

Fas'ın bir şehri olan Ben Guerir'de yarı-kurak çöl iklimi hakimdir. Bu iklimin hüküm sürdüğü yerlerde yaz mevsiminde çok yüksek sıcaklıklar görülebilmektedir. Geçiş mevsimlerinde de yüksek sıcaklıklar devam edebilir. Kış ayları ılık ve kar yağışsız geçmekte, yıl boyunca yağmur nadir olarak görülmektedir. Günlük sıcaklık farkları yıl boyunca yüksektir. Şekil 5.2'de Mayıs ayından Ekim ayına kadar olan kuru termometre günlük sıcaklık dalgalanmaları görülmektedir. Gece gündüz sıcaklık farkının yüksek ve yağışların az olması, gece soğutmasının etkin kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Simülasyonda kullanılan Ben Guerir iklim değerlerinde Ağustos ayı 2 saatlik süresi haricinde gece soğutması yapılan dönemlerde dış hava sıcaklığı 24°C üzerinde gözlenmemiştir [32].

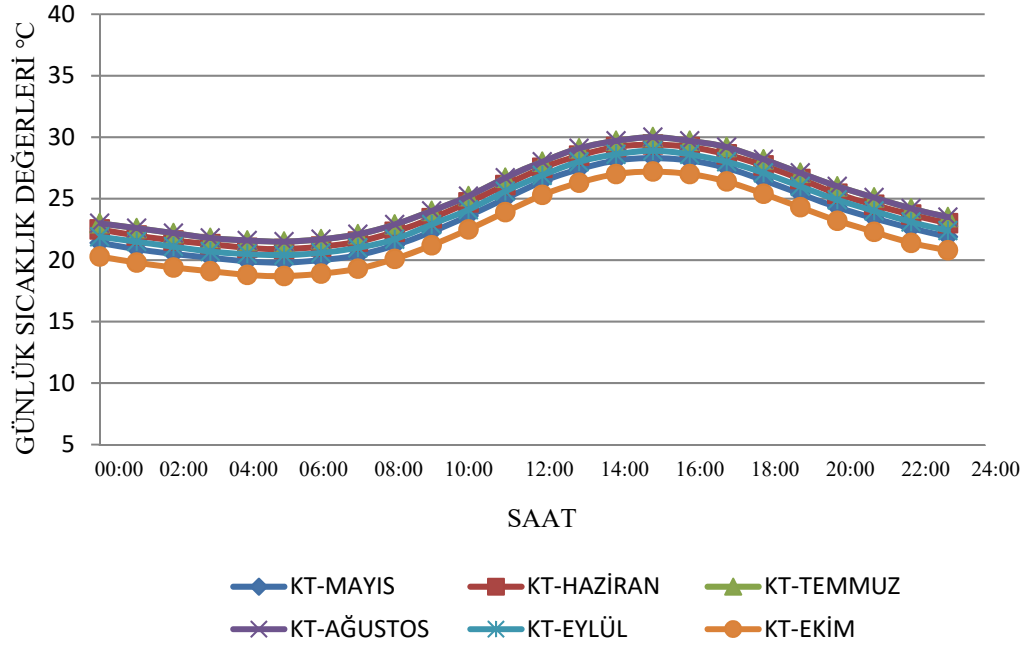


Şekil 5.2 : Ben Guerir günlük sıcaklık değerleri.

### 5.2.2.2 İstanbul

İstanbul ılıman ve nemli bir iklime sahip olmakla birlikte dört mevsim net olarak yaşanmaktadır. Yaz pik sıcaklıkları 30°C'nin üstüne çıkabilmektedir. Günlük sıcaklık farkı 9°C civarındadır [33]. Mayıs–Ekim ayları arasında İstanbul için günlük dış hava kuru termometre sıcaklıkları Şekil 5.3'de görülmektedir. Ortalama değerler olması sebebiyle Ben Guerir sıcaklık değerlerine göre salınımları daha düzenlidir [26]. İstanbul için yaz ortalama sıcaklığı 25°C'dir ve nemli ılıman iklime sahiptir. İstanbul'un sıcaklığı geçtiğimiz yıllarda yaklaşık 2°C kadar artmıştır ve artmaya

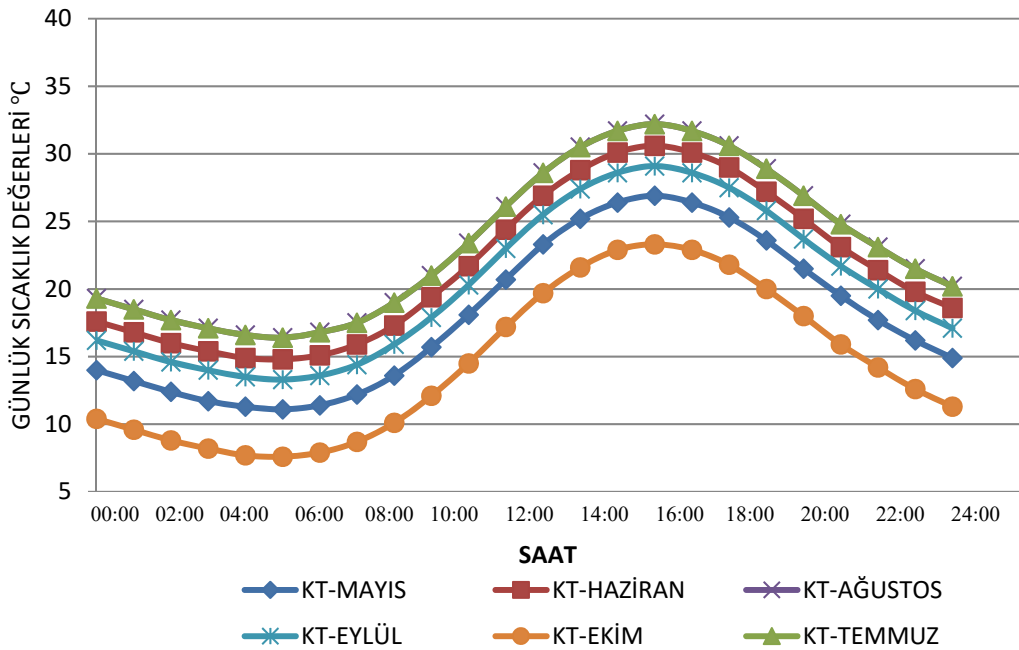
devam etmektedir [34]. Bu sebeple yıl içerisinde gözlemlenen sıcaklık değerlerinin ortalama değerlerin üzerine çıkabileceği gözardı edilmemelidir.



Şekil 5.3 : İstanbul günlük sıcaklık değerleri.

### 5.2.2.3 Ankara

Ankara'nın iklimi kışları sert karasal iklimdir. Geçiş mevsimleri de serin yaşanmaktadır.



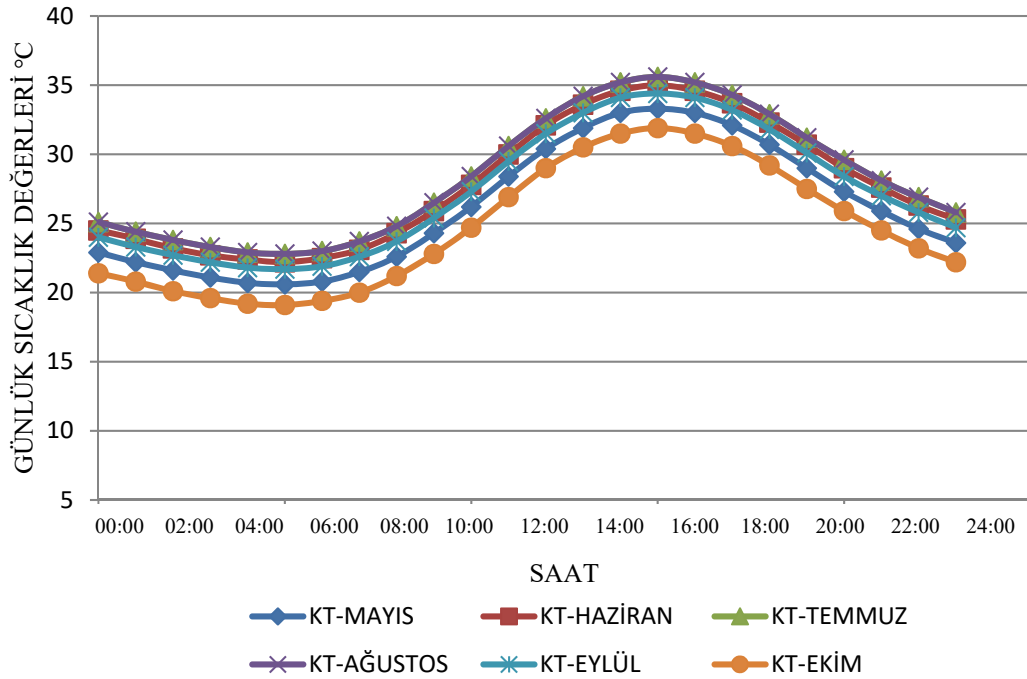
Şekil 5.4 : Ankara günlük sıcaklık değerleri.

Şekil 5.4'de Ankara dış hava kuru termometre sıcaklıkları gösterilmektedir. Günlük sıcaklık farkları 14°C civarındadır [33]. Öte yandan çöl iklimine kıyasla dış hava sıcaklıklarında özellikle geçiş mevsimlerinde gece soğutması açısından düşüş fazladır [26]. Her ne kadar geçiş mevsimlerinde sıcaklıklar düşük olmasına rağmen yaz aylarında yüksek pik sıcaklıklar izlenmiştir. Yaz pik sıcaklık değeri 38°C'e kadar çıkabilmektedir [33]. Paket programda bulunan iklim verileri kullanılmıştır. Sıcaklıkların gece soğutmasına bağlı olarak istemsiz düşüşü Ankara için özellikle incelenecek konu olacaktır.

#### 5.2.2.4 İzmir

İzmir iklimi ılımandır ve özellikle yazları sıcak ve nemli geçmektedir. Günlük sıcaklık farkları 10°C civarındadır ve gözlemlenen maksimum sıcaklık 40°C'e kadar çıkabilmektedir [33]. Şekil 5.5'de İzmir dış hava kuru termometre sıcaklıkları gösterilmektedir.

Simülasyon programından alınan değerlere göre gece sıcaklıkları Mayıs-Ekim arası iklim datalarında birkaç saatlik süre ile 24°C üzerinde gözükmemektedir [26]. Nem ve sıcaklık kontrolü İzmir için özellikle dikkat edilecek başlıklar olacaktır.



Şekil 5.5 : İzmir günlük sıcaklık değerleri.





## **6. SONUÇLAR**

Yapılan analizler sonucu Ben Guerir, İstanbul, Ankara ve İzmir şehirleri için yapının ihtiyaç duyduğu günlük enerji ihtiyaçları bulunmuştur. Set edilen termostat değerine göre saatlik sıcaklıklar izlenebilmektedir. Her bir lokasyon için 3, 5 ve 8 çevrim doğal havalandırma yapılması durumunda enerji ihtiyaçlarındaki iyileşme ve dalgalanmalar gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmalarda hava çevrimlerinin, rüzgar basınçlarından bağımsız olarak bir fan vasıtasıyla kontrol edilebilmektediği kabul edilmiştir. Enerji analizleri sonrasında elektrik tüketimi üzerinden maliyet analizi yapılmıştır.

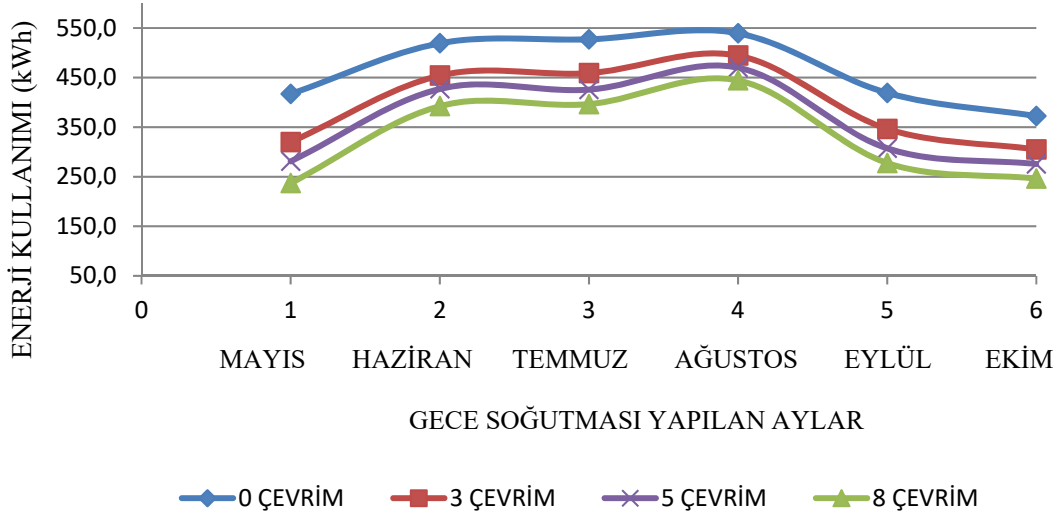
### **6.1 Enerji Tasarruflarının Karşılaştırılması**

Daha önceki kısımlarda da anlatıldığı gibi gece soğutmasının verimliliği, iklim ve konfor şartlarına göre değişmektedir. Örnek bir yapı ele alınarak iklim ve konfor şartları ve etkileri yapılan çalışmalarda incelenmiştir. Sıcaklık farkının yüksek olduğu, karasal ve çöl iklimlerinde gece soğutmasının sağladığı enerji verimliliğinin daha yüksek olduğu ve set edilen konfor sıcaklığının yükseltilmesi ile enerji verimliliğinin arttığı gözlemlenmiştir. Aşağıda her bir lokasyon için ayrı ayrı sonuçlar verilmiştir. Yıl boyu analizin yapılması, gece soğutmasının sağladığı fayda açısından daha net sonuçlar verecektir. Tez kapsamında tüm lokasyonlarda sadece soğutma yapılacak dönemler ele alınmaya çalışılmış ve Mayıs–Ekim ayları dahil olmak üzere 6 ay incelenmiştir.

#### **6.1.1 Ben Guerir ve 24 °C Konfor Sıcaklığı**

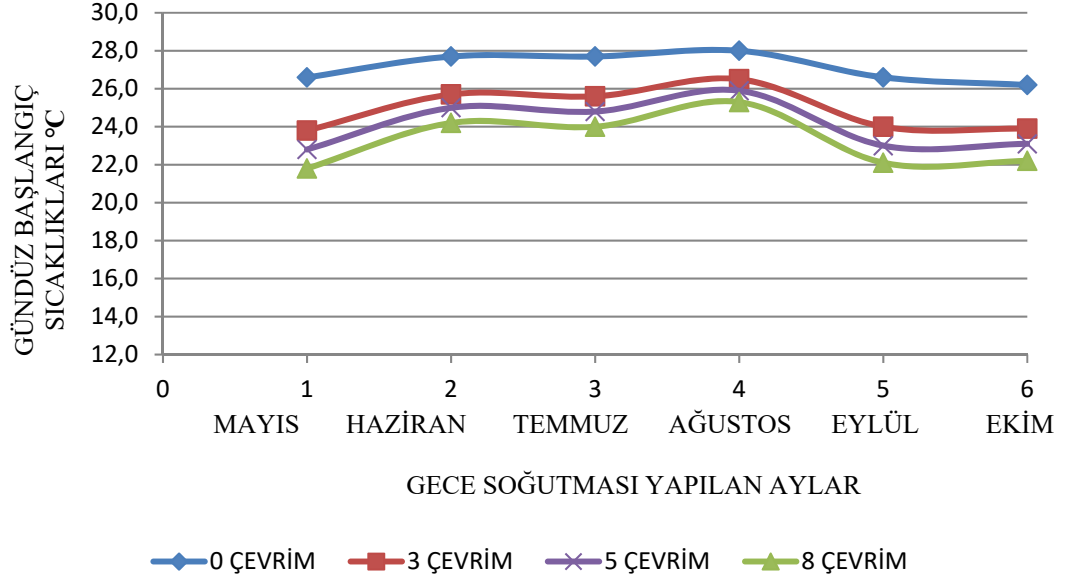
Yapılan hesaplamalar sonucu Ben Guerir için Mayıs – Ekim arası soğutma ihtiyacı Şekil 6.1’de gösterilmiştir. Çevrim sayısındaki değişim ile gece soğutması ile sağlanabilececek enerji tüketim tasarrufu izlenebilmektedir. Özellikle geçiş mevsimlerinde sıcaklık farkının yüksek olması sebebiyle enerji tüketiminde azalma diğer aylara göre daha fazladır. 3 çevrim gece soğutması Ağustos ayı için yaklaşık 45 kWh, 5 çevrim gece soğutması 69 kWh ve 8 çevrim gece soğutması 95 kWh enerji tüketimini azaltmıştır. Hava çevrim sayısının artırılması, enerji tüketimini

azaltmaktadır. Öte yandan gece soğutmasının etkisi hava çevrim sayısı arttıkça, azalarak devam etmektedir.



**Şekil 6.1** : Ben Guerir için aylık enerji ihtiyacı.

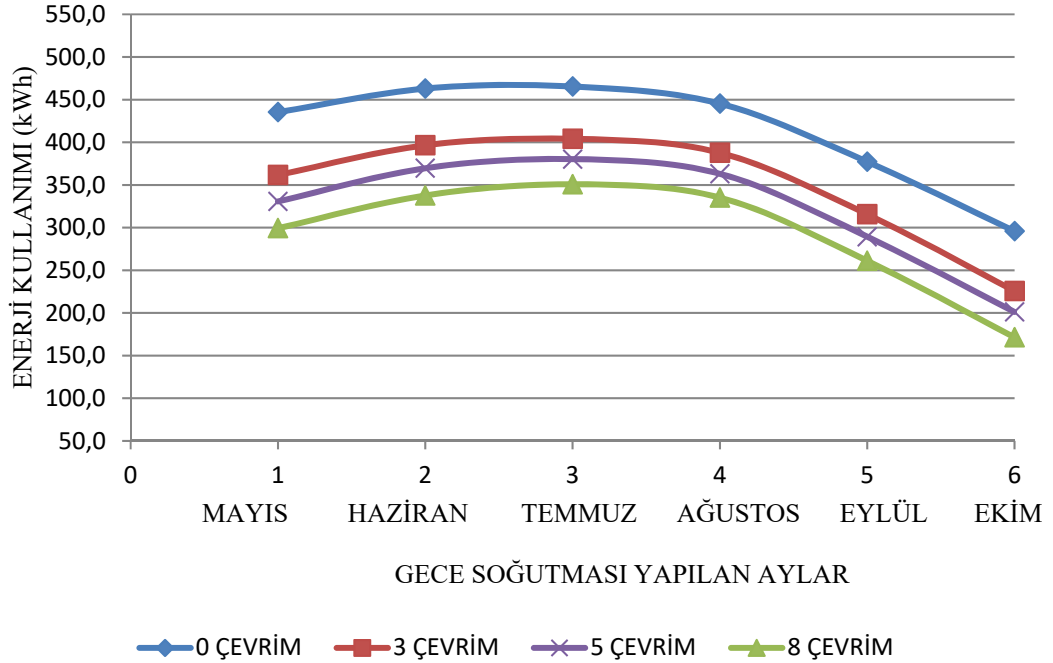
Mahal set değerini kullanım sırasında 24°C kabul ederek hesaplama yaptığımızda gece soğutmasının mahalın başlangıç sıcaklıklarında düşme sağladığı Şekil 6.2’de görülmektedir. Geçiş mevsimlerinde sabah sıcaklıkları 27°C’den yaklaşık olarak 22°C’e kadar düşürülmüştür. En sıcak ay olan Ağustos ayında gece soğutması yapılmasaydı iç ortam sıcaklığı 28°C olacak iken 8 çevrim gece soğutması ile 25°C’e kadar düşürülebilmıştır. Set değeri 24°C kabul ettiğimiz için konfor sıcaklığına ulaşamamıştır ama 3°C sıcaklık düşüsü enerji verimliliği açısından önemli bir noktadır.



Şekil 6.2 : Ben Guerir için 24°C set değeri için gündüz başlangıç sıcaklıkları.

### 6.1.2 İstanbul ve 24 °C Konfor Sıcaklığı

Yapılan hesaplamalar sonucu İstanbul için Mayıs – Ekim arası soğutma ihtiyacı Şekil 6.3’de gösterilmiştir. Çevrim sayısındaki değişim ile gece soğutması ile sağlanabilececek enerji tüketim tasarrufu izlenebilmektedir. Ben Guerir’e göre daha ılıman bir iklime sahip olması sebebiyle gece soğutmasının etkileri, incelenen aylar süresince daha homojen olmuştur.

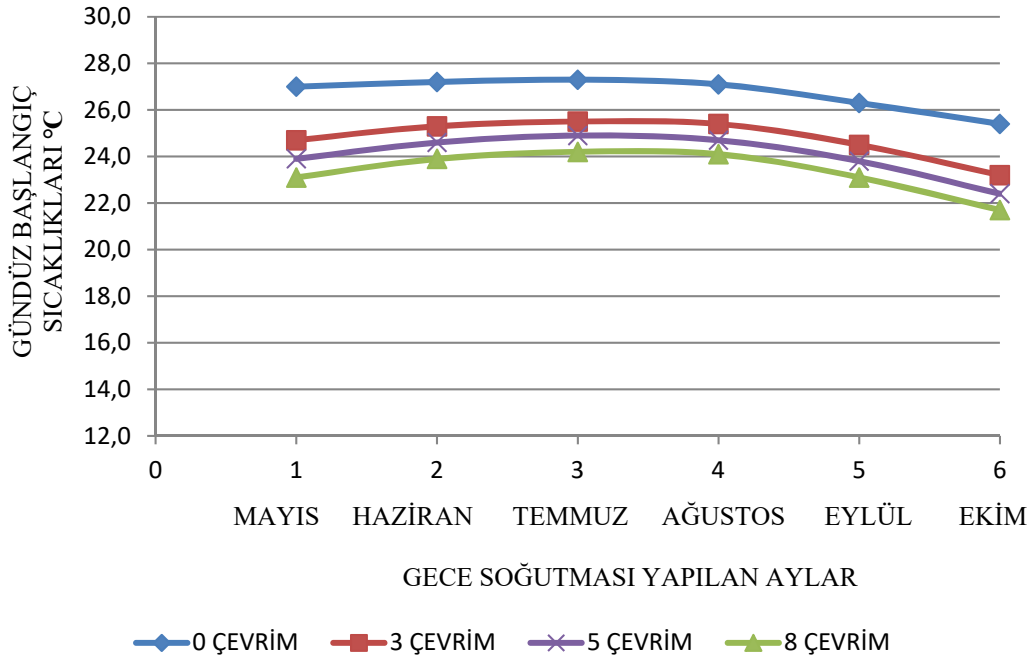


Şekil 6.3 : İstanbul için aylık enerji ihtiyacı.

Pik yüklerin görüldüğü Temmuz ayında enerji ihtiyacı 465 kWh'den 350 kWh'e düşmüştür. Geçiş mevsimlerinde verimlilik artmaktadır. Karasal iklime göre verimlilik artışı daha düşüktür. Ekim ayında 125 kWh ile en yüksek tasarrufa ulaşmıştır.

Mahal set değerini kullanım sırasında 24°C kabul ederek hesaplama yaptığımızda gece soğutmasının mahalın başlangıç sıcaklıklarında düşme sağladığı Şekil 6.4'de görülmektedir. İstanbul için iç ortam sıcaklıkları gece soğutması kullanılmadığı zamanlarda 25,4 °C - 27,3°C derece sıcaklıkları arasında değişmektedir.

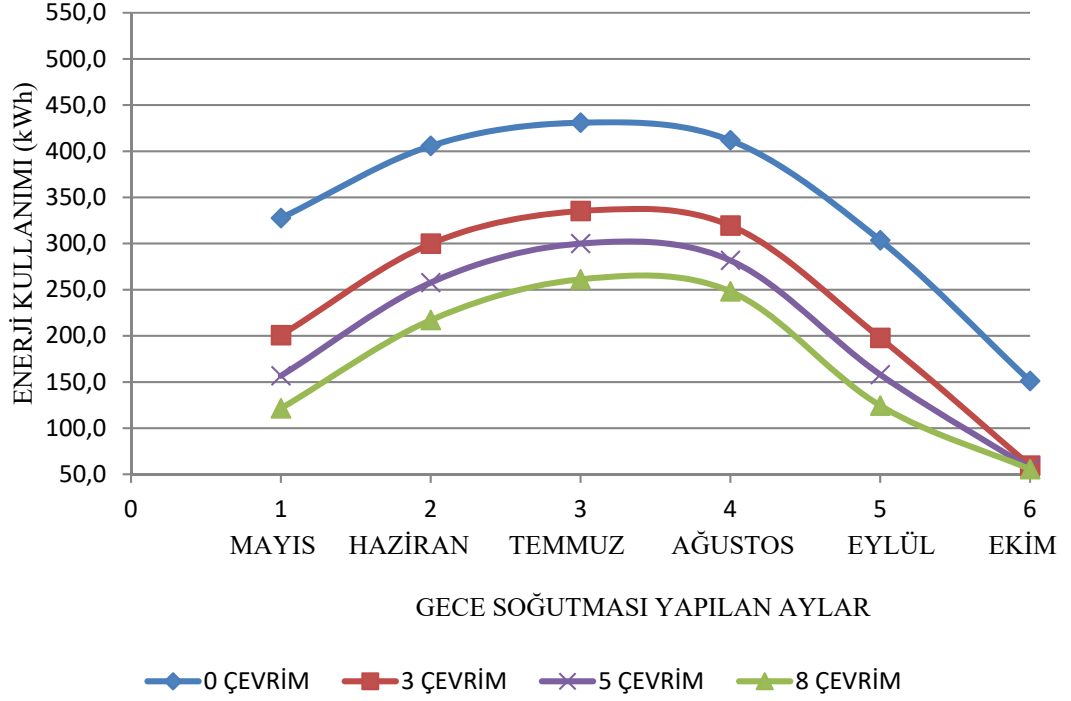
Gece soğutmasının 8 çevrim ile devreye alınması sonucunda iç ortam sıcaklıkları 24,2°C - 21,7°C sıcaklıkları arasında kalmaktadır. Soğutma yapılan aylar için gündüz başlangıç sıcaklıklarının konfor seviyelerinde olduğu söylenebilmektedir. Ben Guerir'de olduğu gibi çevrim sayısının artması tasarrufu arttırmakla birlikte etkisi azalarak devam etmektedir. İstanbul soğutma mevsimleri boyunca gece soğutması açısından gelecek vaat eden sonuçlar vermiştir.



Şekil 6.4 : İstanbul için 24°C set değeri için gündüz başlangıç sıcaklıkları.

### 6.1.3 Ankara ve 24 °C Konfor Sıcaklığı

Yapılan hesaplamalar sonucu Ankara için Mayıs – Ekim arası soğutma ihtiyacı Şekil 6.5'de gösterilmiştir. Çevrim sayısındaki değişim ile gece soğutması ile sağlanabilececek enerji tüketim tasarrufu izlenebilmektedir.

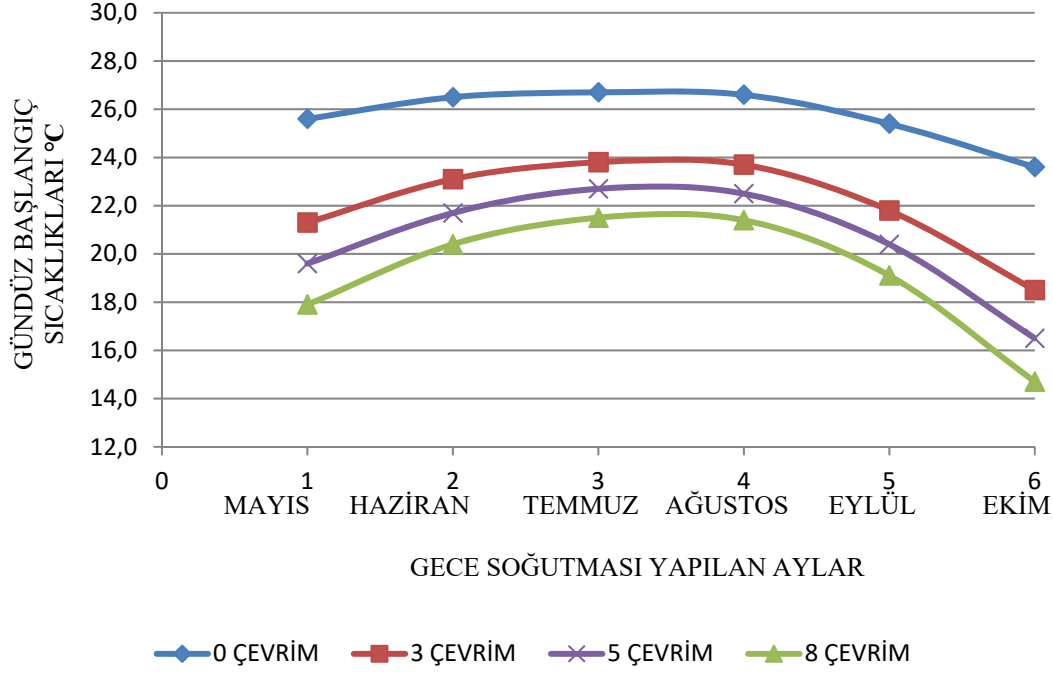


**Şekil 6.5 :** Ankara için aylık enerji ihtiyacı.

Ankara’da karasal iklim yaşandığı ve özellikle geçiş mevsimlerinde sıcaklıkların düşük olmasından dolayı gece soğutması verimliliği diğer lokasyonlara göre yüksek çıkmaktadır. Mayıs ayında 327 kWh olan soğutma ihtiyacı 121 kWh’e kadar düşmüştür. Ekim ayında dış hava sıcaklıkları konfor sıcaklıklarının da altında olduğu için soğutma ihtiyacı düşük çıkmış ve 3 çevrimde bile gece soğutmasının etkisi maksimum seviyeye ulaşmıştır.

Ankara için özellikle kontrol edilmesi gereken de iç ortam sıcaklıklarıdır. Mahal set değerini kullanım sırasında 24°C kabul ederek hesaplama yaptığımızda gece soğutmasının mahalın başlangıç sıcaklıklarında düşme sağladığı Şekil 6.6’da görülmektedir. Yaz aylarında gece soğutması ile iç ortam sıcaklıkları 20,5°C-21,5°C aralığında yakalanmaktadır ve iç ortam konforu açısından uygundur.

Geçiş mevsimlerine özellikle Ekim ayında iç ortam sıcaklıkları gece soğutması ile konfor şartlarından çok düşük seviyelerde kalmaktadır. Ekim ayında 3 çevrim hava sirkülasyonu 18,5°C ve 8 çevrim ise iç ortam sıcaklığını 14,7°C’e seviyelerine getirmektedir.



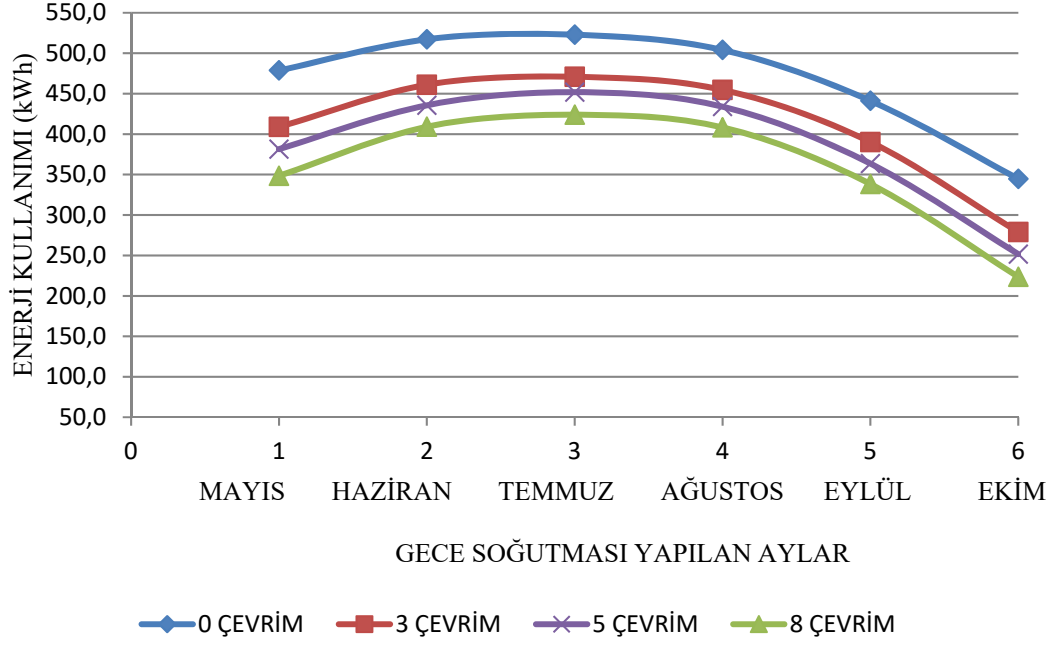
**Şekil 6.6 :** Ankara için 24°C set değeri için gündüz başlangıç sıcaklıkları.

Ankara’da da çevrim sayısının artması gece soğutması ile enerji tasarrufunu arttırmış öte yandan etkisi giderek azalmıştır. Ekim ayı dış hava sıcaklıkları düşük olması sebebiyle gece soğutması verimlilik karşılaştırmalarında kullanılmayabilir.

#### 6.1.4 İzmir ve 24 °C Konfor Sıcaklığı

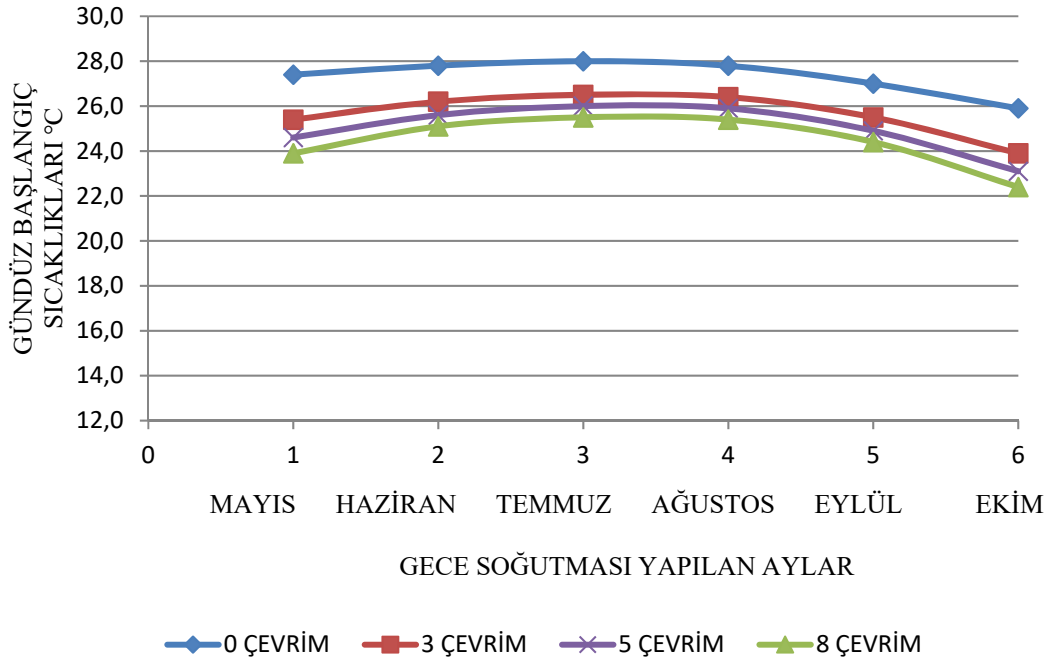
Yapılan hesaplamalar sonucu İzmir için Mayıs – Ekim arası soğutma ihtiyacı Şekil 6.7’de gösterilmiştir. Çevrim sayısındaki değişim ile gece soğutması ile sağlanabilececek enerji tüketim tasarrufu izlenebilmektedir. İzmir diğer lokasyonlara kıyasla daha ılıman bir bölgede kalmaktadır. Gece soğutmasının etkileri İstanbul’da olduğu gibi homojen şekilde dağılmıştır. Geçiş mevsimlerinde verimliliği fazladır. Özellikle Mayıs ayında 130 kWh ile en büyük tasarruf sağlanmıştır.

Mahal set değerini kullanım sırasında 24°C kabul ederek hesaplama yaptığımızda gece soğutmasının mahalın başlangıç sıcaklıklarında düşme sağladığı Şekil 6.8’de görülmektedir. Gece soğutmasının yapılmadığı dönemlerde iç ortam sıcaklığı 26°C-27,4°C arasında değişmektedir.



**Şekil 6.7 :** İzmir için aylık enerji ihtiyacı.

Gece soğutması Haziran – Eylül aylarında iç ortam sıcaklığı en düşük 25°C'e seviyelerine getirebilmektedir. Bu sebeple yaz aylarında konfor sıcaklığı gece soğutması ile sağlanamamaktadır. Enerji tasarrufu açısından yine de katkı sağlamaktadır. Ilıman ve nemli bir iklime sahip olması sebebiyle İzmir için gece soğutmasının iç ortam nemine etkileri ayrıca incelenmesi gereken bir konudur.



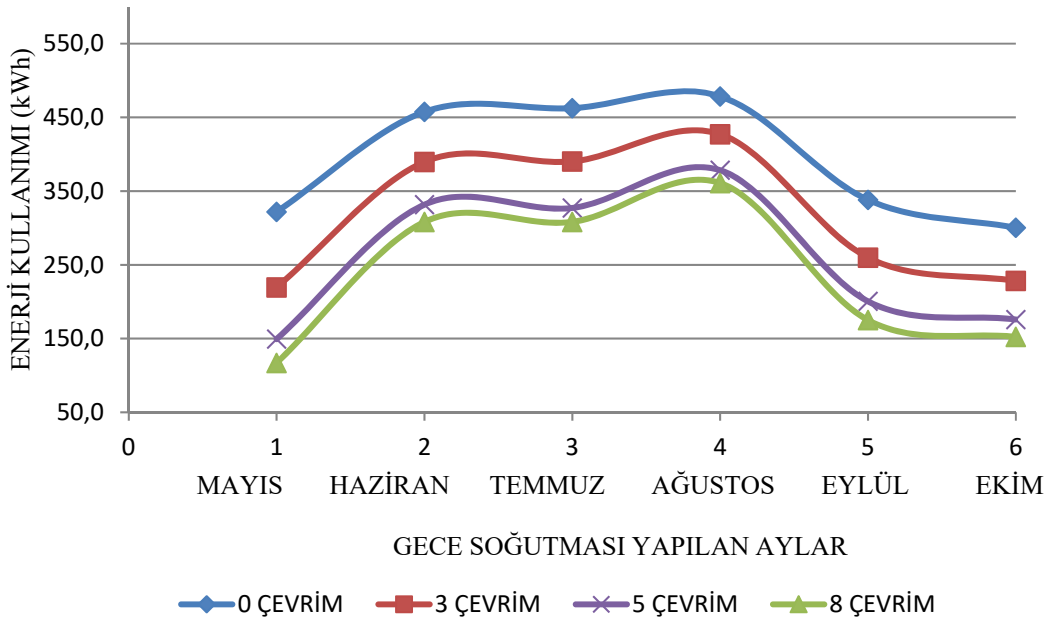
**Şekil 6.8 :** İzmir için 24°C set değeri için gündüz başlangıç sıcaklıkları.

## 6.2 İç Ortam Konfor Sıcaklığının Etkileri ( 24°C ve 27 °C )

Yapılan hesaplamalar sonucu Ben Guerir için 27°C’de Mayıs – Ekim arası soğutma ihtiyacı Şekil 6.9’da gösterilmiştir. Çevrim sayısındaki değişim ile gece soğutması ile sağlanabilenecek enerji tüketim tasarrufu izlenebilmektedir. Mayıs ayında 205 kWh enerji tasarrufu sağlanmıştır. Mayıs ayı için 24°C iç ortam sıcaklığında elde edilen enerji tüketimindeki düşüş 180 kWh seviyelerinde kalmaktadır. Soğutma enerjisi ihtiyacı en fazla ay olan Ağustos için 27°C konfor sıcaklığında 118 kWh, 24°C konfor sıcaklığında 95 kWh enerji tasarrufu sağlamıştır.

Ayrıca konfor şartlarının 24°C’den 27°C’e çekilmesi sonucu yapının ihtiyaç duyduğu soğutma yükünde de azalma olmuştur. Şekil 6.1’de görüldüğü gibi Ağustos ayı 24°C’de soğutma ihtiyacı 540 kWh seviyelerindedir. 27°C konfor sıcaklığına çıkıldığında 480 kWh soğutma enerjisi talebi olmaktadır.

Gece dış hava sıcaklığı ile iç ortam set değeri arasındaki fark arttığı için gece soğutması daha verimli çalışır hale gelmiştir.

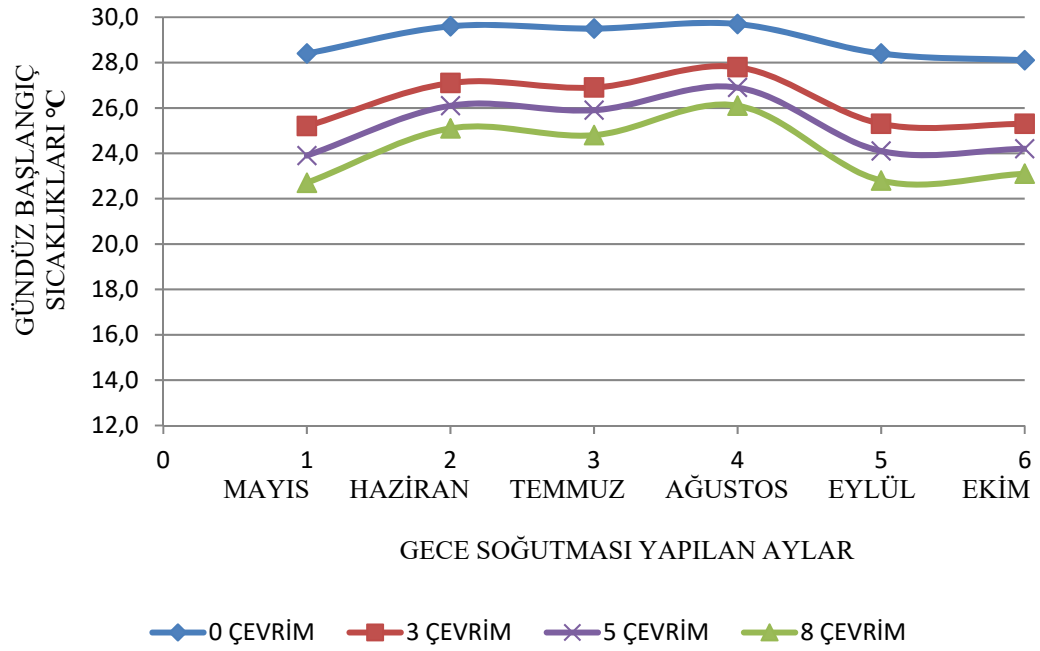


Şekil 6.9 : 27°C set değeri için Ben Guerir için aylık enerji ihtiyacı.

Mahal set değerini kullanım sırasında 27°C kabul ederek hesaplama yaptığımızda gece soğutmasının mahalın başlangıç sıcaklıklarında düşme sağladığı Şekil 6.10’de görülmektedir. İç ortam sıcaklıkları 28°C ile 29,7°C arasında değişmektedir. Gece soğutmasının eklenmesi ile bu sıcaklıklar 23°C ile 26°C arasına çekilebilmektedir. Bu



durum gece soğutması yapılan her ay gündüz sıcaklıklarında konfor seviyelerini yakalandığı anlamına gelmektedir.



Şekil 6.10 : Ben Guerir için 27°C set değeri için gündüz başlangıç sıcaklıkları.



## 7. TARTIŞMA VE YORUMLAR

Analiz sonuçları incelendiğinde her iklim bölgesinin gece soğutmasının farklı oranlarda verimli olduğunu göstermektedir. Bu duruma ek olarak konfor sıcaklıklarının artırılması hem enerji ihtiyacını azaltmış hem de gece soğutmasının verimliliğini arttırmıştır. Bu kısımda her bir sonuç için yorumlama yapılacaktır.

Gece soğutmasının enerji tasarrufuna etkilerinin incelenmesi için yapının elektrik kullanımındaki azalma takip edilebilir. Bunun için ısı pompasının COP değeri dış ve iç hava sıcaklıklarından bağımsız olarak 3 kabul edilmiştir. Daha sonrasında İstanbul 2019 Mart ayı ortalama elektrik fiyatları üzerinden elektrik tasarrufu bulunmuştur [35]. Normal koşullar altında dış ortam hava sıcaklığının artması ile hava kaynaklı ısı pompasının verimi düşecek ve iç ortam sıcaklığının daha yüksek kabul edilmesi ile de verimi artacaktır. Ayrıca elektrik tarifeleri de bölgeye göre farklılık göstermektedir. Bu durumlar tez kapsamında analiz edilmemiştir.

### 7.1 Ben Guerir (Fas)

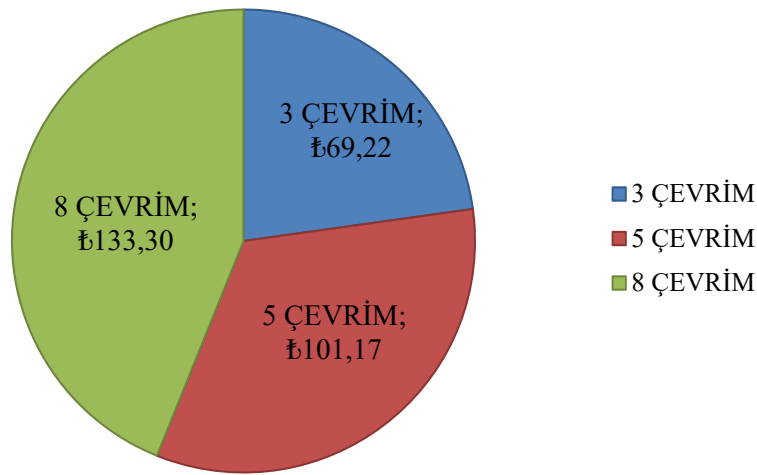
Gece soğutmasının bina enerji taleplerinde sağladığı azalma Çizelge 7.1’de görülmektedir. Gece soğutması yaz aylarında yaklaşık %8 ile %25 ve geçiş mevsimlerinde %17 ile %43 arasında verim sağlamaktadır. Yıl boyu dış hava sıcaklıklarına bakıldığında Ben Guerir için yılın diğer zamanlarda gece soğutması yapılabilir. Sıcaklıkların istenilen değerlerde tutulması adına dış hava kontrolü ile gece soğutması yapılması tercih edilmelidir.

**Çizelge 7.1 : Ben Guerir enerji talebindeki azalma yüzdeleri.**

AY	3 ÇEVİRİM	5 ÇEVİRİM	8 ÇEVİRİM
MAYIS	23%	33%	43%
HAZİRAN	13%	18%	24%
TEMMUZ	13%	19%	25%
AĞUSTOS	8%	13%	18%
EYLÜL	17%	27%	34%
EKİM	18%	26%	34%

Ben Guerir’de yaz ayları için yüksek sıcaklık değerlerinin görüldüğü günler olabilir. Gece sıcaklıkları gece soğutmasını çalıştıracak seviyelerin üstünde kalabilir. Bu sebeple yüksek sıcaklığın olduğu yaz aylarında gece soğutması iç ortam sıcaklığını arttırmamak adına yapılmamalıdır.

Isı pompası ile soğutma yapıldığında 3, 5 ve 8 çevrim gece soğutmasının elektrik tüketiminde sağladığı tasarruf Şekil 7.1’de görülmektedir. Bu durumda Mayıs ile Ağustos ayları boyunca yapılan gece soğutması bir salon mahalinde 133,30 TL’e kadar azalma sağlamıştır.



**Şekil 7.1 :** Ben Guerir elektrik talebindeki azalmanın fiyat karşılığı.

Ben Guerir ve benzeri çöl iklimlerinde gece soğutması diğer iklim bölgelerinden daha fazla gün sayısında yılın belirli dönemlerinde dış hava sıcaklıklarına bağlı olarak çalıştırılabilir. Özellikle Nisan ayının bazı günlerinde gece soğutması ile enerji verimliliği sağlanabilecektir. Yıl boyu yapılacak analizler ile bölgesel olarak gece soğutmasının sağladığı fayda daha ayrıntılı olarak bulunabilir.

## 7.2 İstanbul

Gece soğutmasının İstanbul için bina enerji taleplerinde sağladığı azalma Çizelge 7.2’de görülmektedir. Ilıman iklim olması sebebiyle gece soğutması verimliliği yaz ayları boyunca yakın değerlerde kalmıştır.

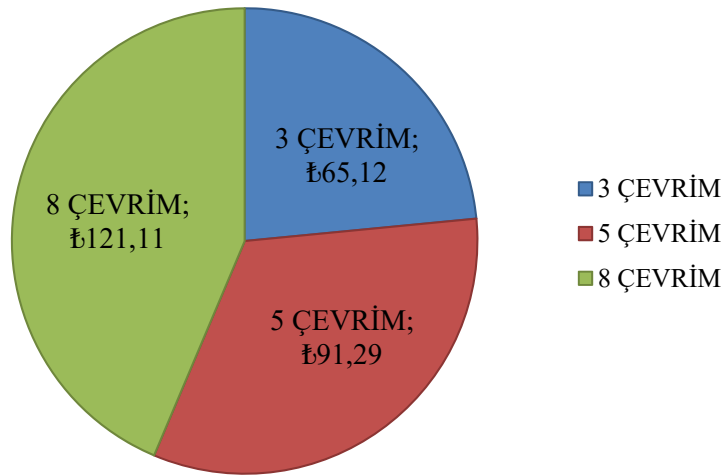
Isı pompası ile soğutma yapıldığında 3, 5 ve 8 çevrim gece soğutmasının elektrik tüketiminde sağladığı tasarruf Şekil 7.2’de görülmektedir. Bu durumda Mayıs ile

Ağustos ayları boyunca yapılan gece soğutması bir salon mahalinde 121,11 TL'e kadar azalma sağlamıştır. Ekim ayında maksimum verim elde edilmiştir. Yaz aylarında %25-%13 arasında enerji tasarrufu sağlayabilmektedir.

**Çizelge 7.2 : İstanbul enerji talebindeki azalma yüzdeleri.**

AY	3 ÇEVİRİM	5 ÇEVİRİM	8 ÇEVİRİM
MAYIS	17%	24%	31%
HAZİRAN	14%	20%	27%
TEMMUZ	13%	18%	25%
AĞUSTOS	13%	18%	25%
EYLÜL	16%	23%	31%
EKİM	24%	32%	42%

Dış hava sıcaklıkları ve enerji ihtiyacındaki azalma ele alınacak olursa geçiş mevsimleri de dahil olmak üzere soğutma sezonu boyunca gece soğutması uygulanabilir. Şekil 6.4'de görüldüğü gibi 8 çevrim hava soğutması başlangıç konfor sıcaklıklarını dahi sağlayabilmektedir. Ilıman iklim bölgesi olması sebebiyle nem kontrolü dış hava sıcaklıklarına bağlı olarak yapılması gerekebilir.



**Şekil 7.2 : İstanbul elektrik talebindeki azalmanın fiyat karşılığı.**

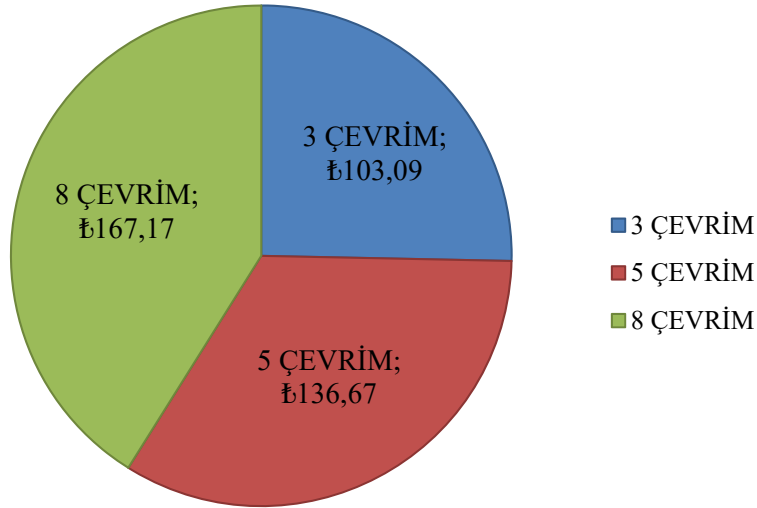
### 7.3 Ankara

Gece soğutmasının Ankara için bina enerji taleplerinde sağladığı azalma Çizelge 7.3’de görülmektedir. Karasal iklim olması sebebiyle gece soğutması verimliliği soğutma dönemleri boyunca yüksektir.

**Çizelge 7.3 : Ankara enerji talebindeki azalma yüzdeleri.**

AY	3 ÇEVİRİM	5 ÇEVİRİM	8 ÇEVİRİM
MAYIS	39%	52%	63%
HAZİRAN	26%	36%	47%
TEMMUZ	22%	30%	39%
AĞUSTOS	22%	32%	40%
EYLÜL	35%	48%	59%
EKİM	61%	63%	63%

Isı pompası ile soğutma yapıldığında 3, 5 ve 8 çevrim gece soğutmasının elektrik tüketiminde sağladığı tasarruf Şekil 7.3’de görülmektedir. Bu durumda Mayıs ile Ağustos ayları boyunca yapılan gece soğutması bir salon mahalinde 167,17 TL’e kadar azalma sağlamıştır.



**Şekil 7.3 : Ankara elektrik talebindeki azalmanın fiyat karşılığı.**

Ankara dış hava sıcaklıkları geçiş mevsimlerinde gece ve gündüz başlangıç vakitlerinde konfor sıcaklıklarının çok altında kalmaktadır. Bu durum gece soğutması ile ortamın fazla soğumasına sebep olmaktadır. Gece soğutmasının geçiş mevsimlerinde yapılması durumunda dış hava sıcaklıklarının kontrol edilerek mahalde istenmeyen bir

ısıtma ihtiyacı oluşturması engellenmelidir. Ayrıca hem geçiş dönemleri hem de yaz ayları boyunca gece soğutması sistemi dış hava sıcaklığının düşük olması sebebiyle gün içerisinde doğal havalandırma ile desteklenebilir.

Analiz sonrası Çizelge 7.3’de Ankara için 8 çevrimde görülebilen %59, %63 enerji tasarrufu miktarları iç ortam sıcaklığını çok fazla düşürmesi sebebiyle uygulanabilir gözükmemektedir. Mayıs ve Eylül aylarında 3-5 çevrim gece soğutması iç ortam sıcaklıkları ele alınarak önerilebilir. Ekim ayında dış hava sıcaklıklarına bağlı olarak 3 çevrim gece soğutması yapılabilir ya da gün içerisinde doğal havalandırma ile iklimlendirme sistemi desteklenebilir.

#### 7.4 İzmir

Gece soğutmasının İzmir için bina enerji taleplerinde sağladığı azalma Çizelge 7.4’de görülmektedir. Ilıman iklim olması sebebiyle gece soğutması verimliliği yaz ayları boyunca yakın değerlerde kalmıştır. Diğer şehirler ile karşılaştırıldığında iklimi en ılıman olan İzmir için gece soğutması verimliliği diğer lokasyonlara göre daha düşük seviyelerde gözlemlenmiştir.

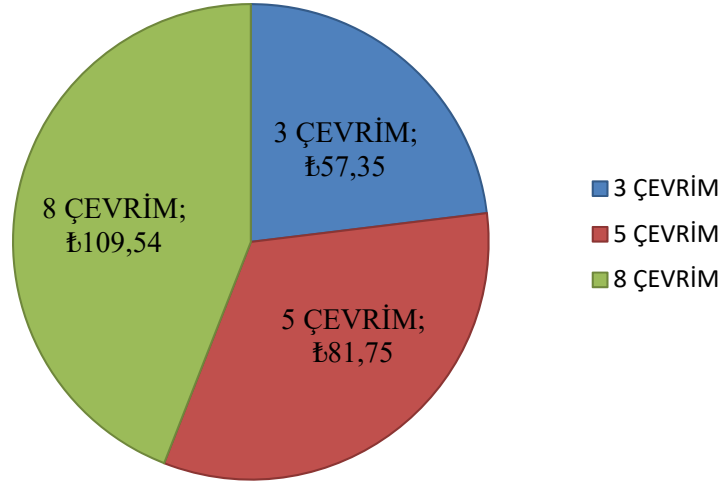
Ilıman iklimi sebebiyle gece soğutması, iç ortam konfor sıcaklığını Ekim ayı hariç hiçbir ay ve çevrim koşuluyla sağlayamamıştır. Ayrıca yüksek nem koşulları sebebiyle iç ortam nemi ayrıca dikkat edilmesi gereken bir unsurdur. Öte yandan enerji açısından %10 ile %35 oranlarında tasarruf sağlamaktadır. Bu sebeple dış hava sıcaklıkları kontrol edilerek ve nem kontrol altına alınarak gece soğutması sisteminden faydalanılabilir.

**Çizelge 7.4 : İzmir enerji talebindeki azalma yüzdeleri.**

AY	3 ÇEVİRİM	5 ÇEVİRİM	8 ÇEVİRİM
MAYIS	15%	20%	27%
HAZİRAN	11%	16%	21%
TEMMUZ	10%	14%	19%
AĞUSTOS	10%	14%	19%
EYLÜL	12%	18%	23%
EKİM	19%	27%	35%

Isı pompası ile soğutma yapıldığında 3, 5 ve 8 çevrim gece soğutmasının elektrik tüketiminde sağladığı tasarruf Şekil 7.4’de görülmektedir. Bu durumda Mayıs ile

Ağustos ayları boyunca yapılan gece soğutması bir salon mahalinde 109,54 TL'e kadar azalma sağlamıştır.



Şekil 7. 4 : İzmir elektrik talebindeki azalmanın fiyat karşılığı.

### 7.5 Ben Guerir 27°C

Ben Guerir için konfor sıcaklığının 27°C'e yükseltilmesi ile gece soğutmasının sağladığı enerji talebindeki azalma Çizelge 7.5'de görülmektedir. Ben Guerir için 24°C sonuçları Çizelge 7.1'de bulunmaktadır. Bu iki tablo karşılaştırıldığında çıkan sonuç konfor sıcaklığının artması gece soğutması performansını arttırmaktadır. Ayrıca konfor sıcaklığındaki artış, net soğutma ihtiyacını olan talebi de azaltmıştır.

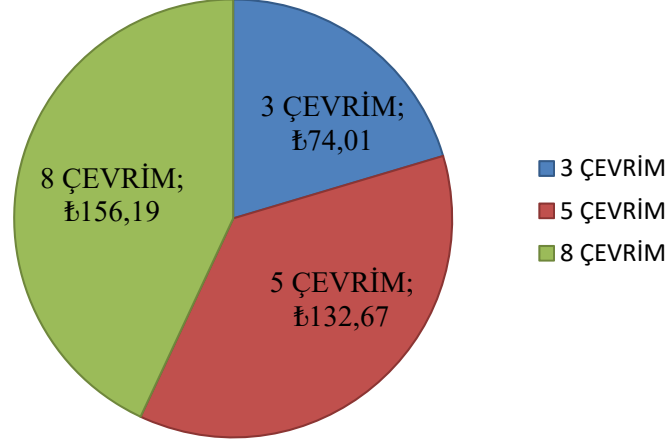
Çizelge 7.5 : Ben Guerir 27°C'de enerji talebindeki azalma yüzdeleri.

AY	3 ÇEVİRİM	5 ÇEVİRİM	8 ÇEVİRİM
MAYIS	32%	54%	64%
HAZİRAN	15%	28%	33%
TEMMUZ	16%	29%	33%
AĞUSTOS	11%	21%	25%
EYLÜL	23%	41%	48%
EKİM	24%	41%	49%

Isı pompası ile soğutma yapıldığında 3, 5 ve 8 çevrim gece soğutmasının elektrik tüketiminde sağladığı tasarruf Şekil 7.5'de görülmektedir. Bu durumda Mayıs ile



Ağustos ayları boyunca yapılan gece soğutması, bir salon mahalinde 156,19 TL'e kadar azalma sağlamıştır.



**Şekil 7. 5 :** Ben Guerir 27°C elektrik talebindeki azalmanın fiyat karşılığı.

Sonuç olarak gece soğutmasının örnek bir yapının salonu üzerinden elde ettiği performans değeri incelenmiş, farklı çevrim oranları ve lokasyonlara göre verimlilikleri karşılaştırılmıştır. Karasal ve çöl iklimlerinde gece soğutması verimliliğinin yüksek olduğu, ılıman iklimlerde dalgalı olmayan ama daha düşük verimlere sahip olduğu görülmüştür.

Gece soğutmasının dış hava ve iç hava sıcaklıklarına bağlı olarak çalıştırılması konfor ve enerji verimliliği açısından önemli bir nokta olacaktır. Çöl ikliminin hakim olduğu yerlerde yüksek sıcaklık farkı gecenin ilk saatleri ve sabahın erken saatlerinde görülmektedir. Diğer zamanlarda ise sıcaklıklar konfor seviyesinin çok üstüne çıkmaktadır. Bu sebeple gece soğutmasında, ortam iç hava sıcaklığını arttırabilecek unsurlar elemine edilmelidir.

Karasal iklimin hüküm sürdüğü lokasyonlarda gece soğutması sıcaklıkları konfor sıcaklıklarının çok altına düşürebilmektedir. Bu sebeple dış hava sıcaklığının kontrolü yapılmaktadır. İliman iklim bölgelerinde %10 - %20 aralığında gece soğutması ile enerji tasarrufu sağlabilmektedir. Bölgeye bağlı olarak dış hava sıcaklık kontrolü ve nem kontrolü yapılması önerilmektedir.

Konfor sıcaklığının arttırılması dış hava ve iç ortam set değeri arasındaki sıcaklık farkını arttıracığı için gece soğutması daha verimli bir şekilde çalışabilmektedir.

Konfor sıcaklığının artması ile soğutma enerjisi talebi de azalmaktadır. Aynı zamanda doğal havalandırma ile desteklenerek gün içerisinde de enerji verimliliği sağlanabilmektedir.

Gece soğutması ile gündüz başlangıç konfor sıcaklıkları ve gün içerisinde sıcaklığın korunması garanti edilememektedir. Öte yandan enerji verimliliği açısından kullanılabilir pasif sistem olma niteliğindedir. Rüzgar basıncı ile ortamda hava çevrimi yapması durumunda harici bir enerjiye ihtiyaç duymayacaktır. Bu duruma alternatif olarak bir adet fan vasıtasıyla hava çevrimine kesinlik kazandırılabilir. Fan ilk yatırım ve elektrik tüketimi enerji tasarrufu ile karşılaştırılmalıdır.

Konutların yanı sıra gece soğutması HVAC sistemi bulunan ofis, fabrika v.b. yapılarda da mevcut havalandırma sistemi üzerinden çalıştırılabilir. Havalandırma sistemi gece sıcaklığına bağlı olarak devreye girerek ortamda hava çevrimi sağlayabilir. Lain ve arkadaşlarının [17] yaptığı çalışma da bu konuyu işaret etmektedir. Mevcut taze hava sistemlerinin çalışma senaryosu mahal kullanımı olmadığı zamanlarda gece soğutması yapacak şekilde düzenlenebilir.

Tez kapsamında yapılan analizler sonucu, gece soğutmasının yapı sektöründe enerji verimliliğini arttıracak çalışmaların başında düşünülmesi gerektiği söylenebilir. Soğutma hesabı yapabilen saatlik ısı performans analizi programları ile gece soğutmasının hesaplanabileceği ve basit senaryolar ile büyük enerji tasarrufu sağlanabileceği oldukça açıktır.

Yıl boyunca yapılacak olan analizler ile gece soğutmasının konum bazında sağladığı enerji tasarrufları daha açık bir şekilde görülebilir. Isı pompasının dış hava sıcaklığındaki değişim ve ortam konfor sıcaklığının arttırılması ile COP değerlerindeki farklılaşma yapılacak olan hesaplamalarda dahil edilmesi gece soğutmasının incelenmesinde daha net sonuçlar sağlayacaktır.

## KAYNAKLAR

- [1] **Koç, E. & Şenel, M.C.** (2013). Dünyada ve Türkiye’de Enerji Durumu – Genel Değerlendirme , *Mühendis ve Makina*, 54 (639), 32–44
- [2] **Arslaner, E.** (2018). *Türkiye’nin Farklı Derece-Gün Bölgelerinde Yer Alacak Örnek Bir Konut İçin Uygun Mekanik Tesisat Sisteminin Tayini*. (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- [3] **Artmann, N.** (2009). *Cooling of the Building Structure by Night Ventilation*. (Phd Thesis). Aalborg University, Department of Civil Engineering, Denmark.
- [4] **Efe, A.** (2009). *Pasif Güneş Evlerinde Bina Kabuğu Sistemi Tasarımı*. (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [5] **United Nations Industrial Development Organization (UNIDO)**. (2004). *Sustainable Energy Regulation and Policy Making For Africa*. (Module 18). United Kingdom: University of Warwick.
- [6] **Harputlugil, T.** (2017). Energy Efficient Building Design Development: A Retrospective Approach , *International Symposium on Energy Efficiency in Buildings*, Ankara, Turkey: February 13-14.
- [7] **Laustsen, J.** (2008). *Energy Efficiency Requirements in Building Codes, Energy Efficiency Policies For New Buildings*. (IEA Informantion Paper). OECD: International Energy Agency.
- [8] **Skanska.** (2007). *Energy Efficiency in Buildings*. (Guidance for Facilities Managers). Sweden: Skanska.
- [9] **Wafula, J.** (2012). *Evaluating Energy Efficiency in Building Control Regulations in Local Authorities in Souht Africa*. (Master thesis). University of the Witwatersrand, Faculty of Engineering, Johannesburg.
- [10] **UNECE.** (2018). *Study on Mapping of Existing Energy Efficiency Standards and Technologies in Buildings in the UNECE Region*. (First Draft). Geneva: UNECE.
- [11] **Van Paassen, A.H.C.** (n.d.). *Benefits of Various Types of Shading and Night Cooling by Vent Windows*. Retrieved October 11, 2018, from [http://www.buildup.eu/sites/default/files/content/tu-delft\\_somfy\\_paperlong.pdf](http://www.buildup.eu/sites/default/files/content/tu-delft_somfy_paperlong.pdf)
- [12] **Griffin, K.** (2010). *Night Flushing and Thermal Mass Maximazing Natural Ventilation for Energy Conservation Through Architectural Features*. (Master Thesis). University of Southern California, Faculty of The USC School of Architecture, California.

- [13] **European Committee for Standardization.** (2019). Erişim: 20 Mart 2019, <https://www.cen.eu/work/areas/construction/buildingsenergyperf/Pages/default.aspx>
- [14] **CIBSE Guide A.** (2006). The Chartered Institution of Building Services Engineers London
- [15] **Centnerova, L.** (2018). On the history of indoor environment and its relation to health and wellbeing. *Rehva Journal, April 2018*, (14-20).
- [16] **Blondeau, P., Sperandio, M., & Allard, F.** (1997). Night Ventilation For Building Cooling in Summer. *Solar Energy Vol.61, No. 5*, (327-335).
- [17] **Lain, M., Zmrhal, V., Hensen, L.M.** (2008). Low energy cooling of buildings in central Europe - Case Studies. *International Journal of Ventilation, 7-1*, (11-21).
- [18] **Koene, F.G.H., Schuitema, R., Houkema, M.** (2005). CFD Calculations and Measurements of Night Cooling by Natural Ventilation, *Ninth International IBPSA Conference, Montreal, Canada: August 15-18*.
- [19] **Çetegen, E.** (2002). *Gece Soğutmasında Binaların Isıl Performansı.* (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [20] **Yang L., Li, Y.** (2008). Cooling load reduction by using thermal mass and night ventilation. *Energy and Buildings 40*, (2052-2058).
- [21] **Maragogiannis, K., Kolokotsa, D., Maria, E.** (2011). Study of Night Ventilation Efficiency in Urban Environment: Technical and Legal Aspects. *Scientific Journal of Riga Technical University, 6*, (49-56).
- [22] **Pegues, J.** (2002). *The Benefits of 8760 Hour-by-Hour Building Energy Analysis.* New York: Carrier Corporation
- [23] **Nault, Shane.** (2012). Building Energy Simulation. *20<sup>th</sup> National Conference on Building Commissioning.* Nashville, Tennessee
- [24] **Zogou, O., Stamatelos, A.** (2009). Application of building energy simulation in the sizing and design optimization of an office building and its HVAC equipment. *Energy and Buildings (Chapter 9)*.
- [25] **Wang, K.S.** (2001). *Handbook Of Air Conditioning and Refrigeration* (2nd ed., Ch. 6). USA. McGraw-Hill
- [26] **Hourly Analysis Program.** (HAP 5.11 International Edition) [Computer software]. USA, Carrier Corporation
- [27] **Kossecka, E., Kosny, J.** (2001). Conduction Z-transfer function coefficients for common composite wall assemblies. *DOE, ASHRAE, ORNL conference - thermal envelopes VIII*, Clear Water, December 2001
- [28] **Köroğlu, N., Alaloğlu, M., Erdoğan, A., Acar, L.** (2011). Saatlik Analiz Programı. *TTMD Isıtma Soğutma, Havalandırma, Klima, Yangın ve Sıhhi Tesisat Dergisi, 73*, (Uygulama Eki).
- [29] **Kafescioğlu, R.** (2016). Alker ve Nitelikleri. Retrieved October 11, 2018, from [https://www.academia.edu/29981089/Alker\\_ve\\_Nitelikleri\\_2016](https://www.academia.edu/29981089/Alker_ve_Nitelikleri_2016)
- [30] **ASHRAE 62.1.** (2013). ASHRAE

- [31] **Daikin Altherma Isıtma Katalođu.** (2013). Erişim: 20 Mart 2019, <https://www.daikin.com.tr/Basin-Medya/File/Daikin-Isitma-Katalogu.pdf>
- [32] **Solardecathlon Africa Comitte.** (2018). Kişisel Görüşme. İstanbul
- [33] **Aktacir, M., Yeřilata, B., Yaka, E., Yenigün, B.,** (2011). Türkiye'nin İlleri İçin Soğutma Tasarım Sıcaklıklarının Tespiti , *Tesisat Mühendisliği*, 126, 5-12
- [34] **Turođlu, H.** (n.d.). İklim değişikliği bağlamında İstanbul'un su yönetimi problemleri. Erişim: 20 Mart 2019, [http://tucaum.ankara.edu.tr/wp-content/uploads/sites/280/2015/08/semp8\\_12.pdf](http://tucaum.ankara.edu.tr/wp-content/uploads/sites/280/2015/08/semp8_12.pdf)
- [35] **EPDK.** (2019). EPDK tarafından onaylanan ve 1/4/2019 Tarihinden İtibaren Uygulanacak Vergi, Fon ve Pay Hariç Tarifeler. Erişim: 20 Mart 2019, <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-1/tarifeler>

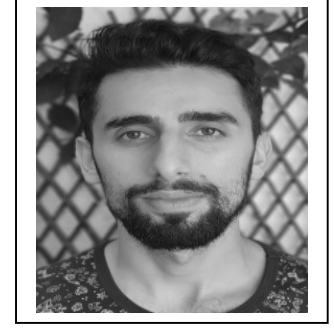








## ÖZGEÇMİŞ



**Ad-Soyad** : İsmail Çelik  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 06.04.1992/ÜSKÜDAR  
**E-posta** : ismailceliikk@gmail.com

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2010, İstanbul Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi, Makina Mühendisliği

### MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- AKIM Mühendislik İnşaat Proje Taahhüt Ticaret ve Sanayi Ltd. Şti. (2014-Günümüz)

### YAYINLAR, SUNUMLAR:

- Say, N., Gönül, A., Çelik, İ., Arslaner, E., & Döner, B., (2017) First Microalgae Based Energy Generating House Design and Application of Turkey-Algaetect House. *13. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi* (pp.44-55). İzmir: Makina Mühendisleri Odası