

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gökçe Çiçek DOĞAN

**ISI KORUMALI MODERN SERALARDA ÜRETİCİ
KOŞULLARINDA TOPLAM ISI GEREKSİNİM
KATSAYISININ BELİRLENMESİ**

TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA ANABİLİM DALI

ADANA, 2018

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ISI KORUMALI MODERN SERALARDA ÜRETİCİ KOŞULLARINDA
TOPLAM ISI GEREKSİNİM KATSAYISININ BELİRLENMESİ**

Gökçe Çiçek DOĞAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA ANABİLİM DALI

Bu Tez 31/01/2018 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından
Oybirliği/Oyçokluğu İle Kabul Edilmiştir.

.....
Prof.Dr.Nafi BAYTORUN
DANIŞMAN

.....
Prof.Dr.Adil AKYÜZ
ÜYE

.....
Prof.Dr.Derya ÖNDER
ÜYE

Bu Tez Enstitümüz Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalında Hazırlanmıştır.
Kod No :

**Prof. Dr. Mustafa GÖK
Enstitü Müdürü**

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı,5846 sayılı fikir ve sanat eserleri kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ISI KORUMALI SERALARDA ÜRETİCİ KOŞULLARINDA
ISI GEREKSİNİM KATSAYISININ BELİRLENMESİ**

Gökçe Çiçek DOĞAN

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA ANABİLİM DALI**

Danışman : Prof. Dr. Nafi BAYTORUN

Yıl :2018,Sayfa : 107

Jüri : Prof. Dr. Nafi BAYTORUN

: Prof. Dr. DERYA ÖNDER

: Prof. Dr. ADİL AKYÜZ

Isı gereksiniminin önemli bir parametresi olan ısı gereksinim katsayısı, birçok faktöre bağlı olarak değişim göstermektedir. Yapılan çalışmada çiftçi koşullarında kurulmuş modern PE plastik serada ısı gereksinim katsayısının dış iklim koşullarından rüzgâr hızına bağlı değişimi incelenmiş, elde edilen sonuçlar basit bir modelle teorik olarak hesaplanan sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Araştırma Adana iklim koşullarında kurulmuş 20.160 m² büyüklüğündeki ısı perdeli modern PE plastik serada yürütülmüştür. Seraya gönderilen ısı enerjisi su gidiş ve dönüş sıcaklığından yararlanılarak hesaplanmış ve saat 24:⁰⁰-5⁰⁰ arasındaki ortalama değerler hesaplamalarda esas alınmıştır. Elde edilen sonuçlardan gidilerek yapılan regresyon analizlerinden rüzgâr hızı ile ısı gereksinim katsayıları arasında artan doğrusal ilişki elde edilmiştir. Rüzgâr hızının ısı gereksinim katsayısına etkisi oldukça düşük bulunmuştur. Bunun nedeni seranın iyi yalıtılmış olması ve ısı perdelerinin kullanılmasıdır. Ölçümler sonucunda örtü malzemesinden transmisyonla olan ısı kayıpları teorik olarak yapılan hesaplamalarla uyum göstermiştir.

Anahtar kelime: Sera, Isıtma, Isı Gereksinim Katsayısı, Isı Gereksinimi

ABSTRACT

MASTER THESIS

DETERMINATION OF HEAT REQUIREMENT COEFFICIENT UNDER FIELD CONDITIONS IN GREENHOUSES WITH HEAT PROTECTION

Gökçe Çiçek DOĞAN

**CUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF AGRICULTURAL STRUCTURES AND IRRIGATION**

Supervisor : Prof. Dr. Nafi BAYTORUN

Year :2018, Pages : 107

Jury : Prof. Dr. Nafi BAYTORUN

: Prof. Dr. DERYA ÖNDER

: Prof. Dr. ADİL AKYÜZ

The heat consumption coefficient, which is an important parameter in calculating the heat requirement, varies depending in the greenhouse. In this study, it is observed the change of the heat consumption coefficient in modern greenhouse installed in the farmer conditions depending on changes in wind speed which is an external climatic conditions and the results were compared with the theoretically calculated results with a simple model. The research was carried out in modern PE plastic greenhouse with heat curtains which has 20.160 m² area established in Adana climatic conditions. The heat energy sent to the greenhouse was determined by utilizing the water flow and return temperature. The average values between 24:⁰⁰ and 05:⁰⁰ hours was taken into account on calculations. It is found linear relations between wind speed and the heat consumption coefficient obtained from regression analysis of results. The effect of wind speed on the heat consumption coefficient was found to be very low. This is due to good of isolation of greenhouse and use of the heat curtain. It is observed that measured heat losses transmitted through coverage materials is compatible with theoretically calculated heat losses by the transmission.

Keyword: Greenhouse, Heating, Heat Consumption Coefficient, Heat Requirement.

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Seralarda verimin kalite ve miktar açısından artırılabilmesi için seraların ısıtılması gereklidir. Kış ayları boyunca dış sıcaklık ne olursa olsun iç sıcaklığın bitki türlerine göre değişen kritik bir sıcaklığın altına düşürülmemesi gerekmektedir.

Seralarda ısıtmanın yararları; Kaliteli ve yüksek verim elde etmek, Serada düşük sıcaklık ve yüksek nem probleminin giderilmesi, Tarımsal ilaç ve hormon kullanımının azaltılmasını sağlar. Şeklinde özetlenebilir (Zabeltitz 2011).

Seralarda ısıtma sistemlerinin doğru olarak projelenmesi ve yıllık ısı tüketimlerinin doğru olarak hesaplanabilmesi için ortaya çıkan ısı kayıplarının sağlıklı olarak belirlenmesi gereklidir. Seralarda meydana gelen ısı kayıpları, sera örtü malzemesinin ısı iletimi, örtü malzemesi yüzeyindeki istenmeyen aralıklarından meydana gelen istek dışı ısı kayıpları, sera içinden dış atmosfere doğru geri ışımaya bağlı ısı kayıpları olmak üzere üç grupta toplanabilir.

Isı gereksinimi, belirlenmiş sınır koşullarına ve araştırmalarla belirlenmiş katsayılara bağlı olarak hesaplama yoluyla bulunan değerdir. Sera ısı gereksinimi, seradan kaybolan ısı miktarına bağlıdır.

Isı gereksiniminin en önemli parametresi ısı gereksinim katsayısıdır. Isı tüketim katsayıları (U_{cs}), malzemenin transmisyon ısı iletim katsayısı (U_T) ve istenmeyen açıklıklardan meydana gelen hava değişim ısı iletim katsayısının (U_L) toplamına eşittir. Toplam ısı gereksinim katsayısı (U_{cs}) örtü malzemesinin özelliğine, sera yapısının sızdırmazlığına, ısıtma sistemine, sulama sistemine, rüzgâr hızına, gökyüzünün bulutluluğuna, yağışa ve seradaki evapotranspirasyona bağlı olarak nemli havanın örtü yüzeyinde yoğunlaşmasına gibi faktörler de değişkenlik göstermektedir.

Araştırma Adana iklim koşullarında kurulmuş 20.160 m² büyüklüğündeki ısı perdeli modern PE plastik serada yürütülmüştür. Hesaplamalarda 2014-2016

yıllarına ait ölçülmüş saatlik iklim verilerinden yararlanılarak seraya aktarılan ısı enerjisi ve ısı gereksinim katsayısı belirlenmiştir.

Excel programının makrosun da hazırlanmış bir program yardımı ile Isıtma kazanı tarafından seraya bir saat içinde gönderilen ısı enerjisi (Φ_{cs}) giden ile dönen su sıcaklık farkına göre hesaplanmıştır. Seranın saatlik iç ve dış sıcaklık verileri ve hesaplanan ısı enerjisi değerleri Meyer (2008) tarafından geliştirilmiş ısı gereksinim katsayısı denklemiyle hesaplanmıştır.

Serada ısı gereksinim katsayısının hesaplanmasında ısıtmanın yapıldığı 2014-2015 yılının Kasım-Mart dönemindeki ölçümler esas alınmıştır. Hesaplamalarda serada gün boyu depolanan güneş enerjisinin gece saatlerindeki ısı tüketimine etkisinin ortadan kaldırılması için saat 24:⁰⁰-05:⁰⁰ arasındaki ölçüm değerlerinin ortalamaları esas alınmıştır. Hesaplamalarda ayrıca iç ve dış sıcaklık farkının 7,5°C' den daha düşük olduğu günler dikkate alınmamıştır.

Hesaplanan toplam ısı gereksinim katsayıları rüzgâr hızına bağlı olarak Regresyon analiziyle değerlendirilerek ısı gereksinim katsayısı ve rüzgar hızı arasındaki istatistiksel ilişkiyi ifade eden eşitlikler elde edilmiştir. Adana koşullarında gece saatlerinde ortaya çıkan rüzgâr şiddeti 0,4-2,0 m/s arasında değişmektedir. Çok ender günlerde rüzgâr hızı 2 m/s'nin üzerine çıkmaktadır. Araştırmanın yapıldığı Kasım - Mart döneminde sadece 2 günde rüzgâr hızı 3 m/s 'nin üzerinde seyretmiştir. Bu sebepten dolayı rüzgâr hızı 4 m/s ve 4 m/s daha az koşullarındaki ısı gereksinim katsayıları belirlenmiştir. Yapılan her iki değerlendirmede hesaplanan ısı gereksinim katsayıları arasında önemli bir fark elde edilememiştir. Isı gereksinim katsayısı ile rüzgâr hızı arasında artan anlamlı bir ilişki bulunmaktadır. Serada ısı perdesinin kullanılması durumunda yalıtımdan dolayı rüzgâr hızının ısı gereksinim katsayısına etkisi azalmaktadır.

Farklı araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen ısı gereksinim katsayıları arasında farklılıkların ortaya çıktığı görülmektedir. Bunun

da nedeni daha 6ncede 6cıklandığı gibi seranın tipi, dış iklim koşulları, sera donanımı ve yetiştirilen bitki 6eşidinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır.

Yapılan 6alışmada transmisyonla ortaya 6ıkan ısı kayıpları katsayısı ile örtü malzemesi dirençlerinden giderek teorik olarak Tantau'nun (2013) tarafından hesaplandığı ısı geçirgenlik katsayıları uyum göstermiştir.





TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sırasında kıymetli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösterici ve destek olan değerli danışman hocam sayın Prof. Dr. Nafi BAYTORUN'a ilgisini ve önerilerini göstermekten kaçınmayan sayın Prof.Dr. Derya ÖNDER'e ve Araş. Gör. Duygu ŞAPOLYO 'ya teşekkür ederim.

Tezimin hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen TAYEM 'de görevli Dr. Fatih BARUTÇU ile Mühendis Emin TEPELİ, Hüseyin SARITAŞ , Zekeriye ÖZGE ve Hüseyin AYDIN'a teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca maddi manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme de sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZ	I
ABSTRACT.....	II
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET	III
TEŞEKKÜR.....	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
ÇİZELGE DİZİNİ.....	X
ŞEKİLLER DİZİNİ	XII
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	13
2.1. Türkiye’de Seracılığın Genel Durumu	13
2.2. Seralarda Isıtmanın Verim ve Kalite Üzerine Etkileri	16
2.3. Isı Enerjisi Gereksiniminin Belirlenmesinde Kullanılan Yöntemler	24
2.4. Seralarda Ortaya Çıkan Isı Akıları.....	29
2.4.1. Sera Örtüsünde Ortaya Çıkan Isı Kayıpları	30
2.5. Serada Isı İletimlerine Etki Eden Etmenler.....	39
2.5.1. Örtü İç Yüzeyi Isı İletimi	39
2.5.2. Örtü Dış Yüzeyi Isı İletimi	41
2.5.3. Sıcaklık Ölçüm Yeri, Yüksekliği ve Sayısı	45
2.5.4. Isı Depolamanın Etkisi.....	46
2.5.5. Örtü Yüzeyindeki Açıklıklar.....	48
2.5.6. Hava Neminin Etkisi.....	50
3. MATERYAL VE METOT	57
3.1. Materyal	57
3.2. Metot	60
3.2.1. Isı Gereksinim Katsayısının Belirlenmesi.....	60
3.2.2. Isı İletim Katsayısının Teorik Olarak Hesaplanması	64

3.2.3. Çatı İç Yüzey Sıcaklığının Hesaplanması.....	67
3.2.4. Çiğ Noktası Sıcaklığının Hesaplanması.....	67
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	71
4.1. Sera İklim Verilerinin Değerlendirilmesi.....	71
4.2. Isı Gereksinimi Hesaplamaları	81
4.3. Isı Gereksinim katsayısının Hesaplanması.....	85
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	95
KAYNAKLAR	99
ÖZGEÇMİŞ	107

ÇİZELGE DİZİNİ

Çizelge 1.1. Türkiye 'de Örtü Altı Alanlar (TÜİK 2014).....	2
Çizelge 1.2. Avrupa Ülkeleri Sera Varlıkları.....	3
Çizelge 2.1. Türkiye'de Farklı Enerji Kaynakları İle Isıtılan Modern Sera Büyüklikleri (da).....	16
Çizelge 2.2. Çeşitli Bitkiler İçin En Uygun Sera Sıcaklıkları.....	18
Çizelge 2.3. Sera Donanımına ve Üretim Periyodunun Uzunluğuna Bağlı Olarak Domates Verim Değerleri (kg.m ²).....	20
Çizelge 2.4. Aylık Ortalama Sıcaklık ve Günlük Toplam Radyasyon Değerleri İle Aylara Bağlı İklimlendirme Önlemleri	21
Çizelge 2.5. Gece ve Gündüz Uzunluğuna Bağlı Σfn ve Σfd Değerleri	28
Çizelge 2.6. Serada Kullanılan Isıtma Sistemine Bağlı İç Yüzey Isı İletim Direnci	33
Çizelge 2.7. Sera Farklı Örtü Malzemelerinin Isı İletim Dirençleri.....	34
Çizelge 2.8. Serada Isı Korunumu Amacıyla Kullanılan Farklı Perdelerin Isı İletim Dirençleri	35
Çizelge 2.9. Hava Değişimine Bağlı Isı İletim Direnci	37
Çizelge 2.10. Serada Kullanılan Farklı Isıtma Sistemlerine Bağlı Isı Tüketim Katsayıları	41
Çizelge 2.11. Farklı Örtü Malzemelerinin Isı İletim Katsayıları	44
Çizelge 2.12. Farklı Örtü Malzemelerinin Ortalama Isı Gereksinim Katsayıları ...	45
Çizelge 2.13. Serada Örtü Malzemesinin İç Yüzeyinde Ortaya Çıkan Yoğunlaşmaya Bağlı Olarak Hesaplanan Isı İletim Katsayısı	55
Çizelge 3.1. Araştırma Serasının Boyut ve Teknik Özellikleri.....	57
Çizelge.3.2. 15-16/12/2014 Tarihine İlişkin Isı Miktarının Hesaplanması.....	64
Çizelge 3.3. Seralarda Kullanılan Farklı Perdelerin Isı Geçirgenlik Dirençleri....	67

Çizelge 4.1. Araştırmanın Yapıldığı 2014-2015 Yılında Aylara Bağlı Ortalama, Maksimum, Minimum Sıcaklık Değerleri.....	81
Çizelge 4.2. Düşük Su Sıcaklığı İçin Yapılan Hesaplama Örneği.....	81
Çizelge 4.3. Yüksek Su Sıcaklığı İçin Yapılan Hesaplama Örneği	82
Çizelge 4.4. Araştırmacıların Rüzgar Hızı ile Isı Gereksinim Katsayısı Arasındaki Eşitlikleri.....	89
Çizelge 4.5. Farklı Araştırmacılar Tarafından ısı perdesiz PE Seralar İçin Elde Edilmiş Isı Gereksinim Katsayıları	89
Çizelge 4.6. Sera İç Yüzey Isı İletimine Bağlı Hesaplanmış Isı Gereksinim Katsayıları	93

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Ilıman İklim Sahip Adana İlinin Günlük Ortalama Sıcaklık ve Günlük Toplam Radyasyon Değerleri.....	7
Şekil 1.2. Karasal Ilıman İklim Sahip Afyonkarahisar İlinin Günlük Ortalama Sıcaklık Ve Günlük Toplam Radyasyon Değerleri	9
Şekil 1.3. Sera Enerji Dengesi Hesaplamalarında Kazanılan Ve Kaybedilen Isı Akıları.....	10
Şekil 2.1. Akdeniz'deki Farklı Ülkelerde Isıtmasız Seralarda Ve Hollanda'da Isıtılmalı Modern Seralarda Elde Edilen Farklı Ürünlerin Verim Değerleri	19
Şekil 2.2. Seralarda Ortaya Çıkan Isı Akıları.....	30
Şekil 2.3. Sera Örtü Malzemesinde Ortaya Çıkan Isı Akıları.....	31
Şekil 2.4. Sera Örtü Malzemesinde Ortaya Çıkan İletim Dirençleri.....	32
Şekil 2.5. Serada Kullanılan Farklı Donanımlara Bağlı Olarak Ortaya Çıkan Isı Akı Dirençleri.....	36
Şekil 2.6. Isı Enerjisi Gereksiniminin Rüzgâr Hızına Bağlı Oransal Değişimi	42
Şekil 2.7. Isıtılan Serada Yatay Eksende Hava ve Yaprak Sıcaklıkları	46
Şekil 2.8. Isıtılmayan Serada Gün Boyu Depolanan Isı Enerjisinin Gece Sıcaklık Değerlerine Etkisi.....	47
Şekil 2.9. Kapalı Seralarda İstenmeyen Açıklıklardan Meydana Gelen Hava Değişim Sayısı.....	49
Şekil 2.10. Serada Havanın Isıtılmasına Bağlı Olarak Havanın Fiziksel Özelliklerinde Meydana Gelen Değişimler	52
Şekil 2.11. Farklı Yaprak/Alan İndeksine Sahip Domates Bitkisinde Gece Saatlerinde Transpirasyona Bağlı Latent Isı Değerleri	53
Şekil 2.12. Serada Havalandırma Kapaklarının Açıklık Oranlarına Bağlı Olarak Sera Havasındaki Değişimler.....	54

Şekil 3.1. Araştırmanın Yürütüldüğü Seranın İçten Görünüşü	57
Şekil 3.2. Sera Isıtmasında Kullanılan Kömür Kazanları	58
Şekil 3.3. Sıcak Suyun Kontrolünde Kullanılan Üç Yollu Kontrol Vanaları.	59
Şekil 3.4. Serada Enerji Korunumu Amacıyla Kullanılan Isı Perdeleri.....	60
Şekil 3.5. Araştırma Serasında Su Gidiş Ve Dönüş Sıcaklıkları Arasındaki İlişki	62
Şekil 3.6. Seraya Gönderilen Isı Miktarının Belirlenmesinde Kullanılan Program.....	63
Şekil 3.7. Serada Isı İletim Katsayısının Hesaplanmasında Kullanılan Model.....	65
Şekil 4.1. Araştırmanın Yapıldığı Serada Günün Saatlerine Bağlı Olarak Sıcaklık ve Nem Değerleri	71
Şekil 4.2. Araştırmanın Yapıldığı Serada Günün Saatlerine Bağlı Olarak Sıcaklık Ve Nem Değerleri	73
Şekil 4.3. Araştırmanın Yapıldığı Serada Günün Saatlerine Bağlı Olarak Sıcaklık Ve Nem Değerleri	74
Şekil 4.4. Araştırmanın Yapıldığı Serada Günün Saatlerine Bağlı Olarak Sıcaklık Ve Nem Değerleri	75
Şekil 4.5. Araştırmanın Yapıldığı Serada Günün Saatlerine Bağlı Olarak Sıcaklık ve Nem Değerleri	76
Şekil 4.6. 2014-2015 Yılında Kasım-Mart Döneminde Serada Ve Dış Ortamda Ölçülen Gece Sıcaklık Ve Nem Ortalamaları	77
Şekil 4.7. Serada İç, Dış ve Boru Sıcaklık Değerlerinin Günün Saatlerine Bağlı Değişimi	78
Şekil 4.8. Serada İç, Dış ve Boru Sıcaklık Değerlerinin Günün Saatlerine Bağlı Değişimi	79
Şekil 4.9. Araştırma Serasında İç, Dış, Çiğ Noktası Ve Örtü Malzemesi İç Yüzey Sıcaklık Değerleri	80

Şekil 4.10. 2014-2015 Yıllarındaki Kasım-Ocak Aylarının Ortalama Isı Gereksinimi Ve Sıcaklık Farkı.....	83
Şekil 4.11. Araştırmanın Yapıldığı Isı Perdeli Plastik Serada Farklı Aylarda Seraya Gönderilen Isı Enerjisi Ortalamaları	84
Şekil 4.12. 2014-2015 Yıllarındaki Ortalama Boru Sıcaklığı ve Sıcaklık Farkı.....	85
Şekil 4.13. Isı Gereksinim Katsayıları İle Rüzgâr Hızı Arasındaki İlişki	86
Şekil 4.14. Isı Gereksinim Katsayıları İle Rüzgar Hızı Arasındaki İlişki	88
Şekil 4.15. Isı Enerjisi Gereksiniminin Oransal Değişimi	91





1. GİRİŞ

Dünya nüfus artışına paralel olarak ihtiyaç duyulan gıda miktarı artmakta, buna karşın olarak tarımsal ürünlerinde artışın yeterli olmaması son yıllarda gıda fiyatlarında yükselmelere neden olmaktadır. Üretim artışı sağlamak için tarımsal alanların genişletilmesi, genetik çalışmalar ve birim alandan daha fazla verim elde etme yolları üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Bunlara ek olarak iklim koşullarının uygun olmadığı dönemlerde, bitki iklim isteklerini karşılayan sera yapıları inşa edilerek üretim yapılmaktadır.

Seralar iklimle ilgili çevre koşullarına tümüyle veya kısmen bağlı kalmadan, sıcaklık, ışık (PAR) ve nem gibi gelişim faktörlerinin denetim altında tutulmasıyla bütün yıl boyunca çeşitli kültür bitkileriyle, bunların tohum, fide ve fidanlarını üretmek, bitkileri korumak ve sergilemek amacıyla, cam, plastik, vb. ışık geçirebilen malzeme ile kaplanarak değişik şekillerde yapılan bitkisel üretim yapılarıdır (Öneş, 1986; Yağanoğlu ve Örüng, 1997; Yüksel, 2000).

Türkiye’de seracılık 1940 yıllarında ilk defa Akdeniz bölgesinde özellikle Antalya’da başlamış buradan ekolojik koşullara bağlı bir gelişme göstererek, Ege ve Marmara bölgelerine yayılmıştır. Türkiye’de örtü altı yetiştiriciliği en yoğun olarak Akdeniz bölgesinde yapılmaktadır. Bu bölge toplam örtü altı varlığımızın % 84’üne sahiptir. Akdeniz bölgesinden sonra % 9.4’lük pay ile Ege bölgesi, % 4.8 ile Karadeniz ve % 1.7 ile Marmara bölgeleri gelmektedir. Akdeniz Bölgesinde yer alan Antalya ilimiz, toplam 22.000 hektarla toplam örtü altı varlığının % 37’sini sınırları içinde bulundurmaktadır. Türkiye’de örtü altı yetiştiriciliği, seralar ve plastik tünellerdeki üretimi kapsamaktadır.

Büyük yatırımcı grupların da sektöre girmesiyle hızlı bir gelişim gösteren modern seracılık, son on yıllık süreci göz önüne aldığımızda büyük bir gelişim göstererek günümüzde 1.000 ha seviyelerine ulaşmıştır. Bu rakama her yıl yaklaşık 150-200 ha alan eklenmektedir. Türkiye’de 61.500 ha örtü altı alanının 36.000 ha’ı

yüksek örtü altı sistemler olarak tanımlanan seralar oluşturmaktadır. Türkiye’de sera alanlarının %3’ünde modern seracılık yapılmaktadır. Önümüzdeki on yıllık süreçte bu payın % 15 seviyelerine ulaşması hedeflenmektedir (Baytorun, 2016). TÜİK 2014 verilerine göre Türkiye’deki örtü altı alanları (ha) Çizelge 1.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 1.1. Türkiye ‘de Örtü Altı Alanlar (TÜİK 2014)

Yıl	Toplam alan (ha)	Cam sera (ha)	Plastik sera (ha)	Yüksek tünel (ha)	Alçak tünel (ha)
2005	46 754	6 543	17 104	6 692	16 415
2006	46 908	6 835	18 235	6 983	14 854
2007	49 424	7 579	19 518	6 531	15 796
2008	54 216	8 225	21 168	6696	18 127
2009	56 718	8 293	22 019	7705	18 702
2010	56 381	8 077	23 054	8152	17097
2011	61 145	7 888	24 796	10891	17570
2012	61 776	8 073	27 873	9510	16321
2013	61 512	8 074	27 866	9799	15774

Dünyada en çok seracılık, iklimin sera yetiştiriciliğine uygun olması nedeniyle Akdeniz havzasındaki ülkelerde yapılmaktadır. Bir Akdeniz ülkesi olan Türkiye, sera alanı varlığında dünyada dördüncü, Akdeniz ülkeleri arasında ise İspanya’dan sonra ikinci sıradadır. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığının verilerine göre, 2015 yılı itibariyle Türkiye’de toplam 64,91 ha örtü altı üretim alanı bulunmaktadır. Toplam örtü altı alanının 37,96 ha (%58) içinde hareket edilebilir seralara aittir. 1995 yılından itibaren elde edilen 20 yıllık veriler değerlendirildiğinde; toplam plastik sera alanının artış miktarının, toplam cam sera alanı artış miktarından daha fazla olduğu görülmektedir. 2014 yılında, Türkiye’deki seraların 29,86 ha plastik seralardan (% 79) oluşurken, 8,09 dekarı

(% 21) cam seralardan oluşmaktadır. Avrupa ülkelerine ait sera varlıkları Çizelge 1.2’de verilmiştir (Anomin,2015b).

Çizelge 1.2. Avrupa Ülkeleri Sera Varlıkları

	Ülke	Alan (ha)	Plastik Sera (%)
1	İspanya	60000	99
2	Türkiye	38000	79
3	İtalya	25000	91
4	Fransa	10000	70
5	Hollanda	10000	2
6	Yunanistan	4500	95
7	Diğer Ülkeler	14500	

Türkiye iklim kuşakları içinde örtüaltı bitki yetiştiriciliği için en uygun iklim olan ılıman iklim kuşağında yer almasıyla dünyada seracılık için en uygun ülkeler arasındadır (Anonim, 2015a). Türkiye diğer Akdeniz ülkelerine göre daha büyük bir seracılık potansiyeline sahiptir. Türkiye, sera alanı varlığında dünyada dördüncü, Akdeniz ülkeleri arasında ise İspanya ve İtalya’dan sonra üçüncü, sebze yetiştirilen sera alanı bakımından ise İspanya’dan sonra ikinci sıradadır (Anonim,2013)

Akdeniz iklim kuşağındaki seralarda ortaya çıkan sorunlar bazı araştırmacılar tarafından özetlenmiştir.(von Elsner ve ark. 2000; Pardossi ve ark,2004; Baytorun ve ark,1997) Bu sorunlar ; kış aylarında biyolojik optimumun altına düşen sıcaklık nedeniyle gece saatlerinde ısıtma ihtiyacının ortaya çıkması, ısıtılmayan seralarda gece gündüz arasında ortaya çıkan büyük sıcaklık farkları ve gökyüzünün açık, bulutsuz olduğu gecelerde meydana gelen inversiyon nedeniyle serada sıcaklığın dış sıcaklığın altına düşmesi sonucu bitkilerde ortaya çıkan stresler , gece saatlerinde düşük sera sıcaklığına bağlı ortaya çıkan yüksek nem, kış aylarında (Aralık, Ocak) yetersiz güneş ışınımı, sıcak dönemlerde örtü yüzeyinde yapılan

gölgelemeden arta kalan kireç ve boya artıklarının ışık geçirgenliğini azaltması, yetersiz havalandırma nedeniyle ortaya çıkan düşük CO₂ yoğunluğuna bağlı yetersiz fotosentez, bitki gelişimi ve elde edilen ürün kalitesinin olumsuz yönde etkilenmesi, ilkbahar ve yaz aylarında gündüz saatlerinde ortaya çıkan yüksek sıcaklık, Mayıs-Eylül döneminde ortaya çıkan yüksek sıcaklık nedeniyle üretim periyodunun kısalığı, serada yüksek neme bağlı transpirasyonun engellenmesi, bitki yaprak sıcaklığının yükselmesi ve buna bağlı domates ve biber köklerinde kalsiyum eksikliğinin ortaya çıkması, beyazsinek, tırtıl, yaprak biti gibi haşereler, gri ve siyah küf gibi hastalıklar, kök ve gövde virüsleri nedeniyle biyolojik mücadelenin zorlaşması ve aşırı kimyasalların kullanılması, bazı dönemlerde şiddetli rüzgar, kar ve dolu yarattığı zararlar, sınırlı su ve bazı alanlarda görülen su kıtlığı, açık alanda ve seralarda üretilen ürünlerin hasat zamanlarının örtüşmesi ve rekabet nedeniyle fiyatların düşmesi, topraksız kültür yerine toprakta doğrudan üretimin tercih edilmesi, seralarda toprak dezenfeksiyonu amacıyla kullanılan Metil Bromidin ve organik gübrelerin taban suyuna karışma tehlikesi.

Sera ürünlerinin kaliteleri son yıllarda gerek yurt içi, gerekse yurt dışında önemli boyutlara ulaşan tartışmalara konu olmaktadır. Kalite olumsuzluğuna neden olan ana faktörlerden bir tanesi sera içi iklim değerleridir. Düşük sıcaklık ve yüksek nem, bir yandan fiziksel, kimyasal ve aromatik kalite noksanlığı oluştururken, diğer yandan yoğun tarımsal savaş ilacı ve hormon kullanımını zorunlu kılmaktadır. Seralarda düşük sıcaklık ve yüksek nem sorununu çözmek için alınabilecek önlem ısıtmadır. Seralardan kaliteli yüksek verimin elde edilebilmesi için günlük ortalama sıcaklığın 12°C'nin altına düşmesi durumunda seralar ısıtılmalıdır (Nisen ve Ark.,1988; Zabeltitz, 1992; Zabeltitz, 2011; Baytorun ve ark, 1995)

Akdeniz sahil şeridinde ısıtılmayan seralarda ortaya çıkan en büyük sorun düşük sıcaklık ve buna bağlı ortaya çıkan yüksek nemdir. Seralarda yüksek nem nedeniyle ortaya çıkan hastalıklara karşı kimyasal ilaçlar kullanılmaktadır.

Hollanda’da seralarda hastalıklara karşı mücadelede 31 kg.ha⁻¹ ilaç kullanılırken, İtalya’da 47 kg.ha⁻¹ kullanılmaktadır (Stanghellini ve ark. 2003). Türkiye’de Bombus arısı kullanılan işletmelerde 78 kg.ha⁻¹ ilaç kullanılırken, Bombus arısı kullanmayan işletmelerde bu değere 357 kg.ha⁻¹’a kadar yükselmektedir (Karaman ve Yılmaz 2006). Hollanda’da bir kg domates üretiminde 0,024 g.kg⁻¹ ilaç kullanılırken, bu değer İsrail’de 0.151 g.kg⁻¹, kanarya adlarında ise 0.230 g.kg⁻¹’dır (Zabeltitz, 1997).

Isıtılmayan seralarda düşük sıcaklık ve yüksek oransal nem sonucu ortaya çıkan bitki hastalıklarına karşı kullanılan kimyasal ilaçların zararlı etkisi yanında, kullanılan kimyasal ilaçlar üretim maliyetini artırdığı gibi, çevre kirliliğine de neden olurlar. Yapılan araştırmalar, Akdeniz sahil şeridinde bulunan seralarda kullanılan kimyasal savaş ilaçlarının küçümsenmeyecek oranda fazla olduğunu ve seraların bu ülkelerde de gelecekteki çevre problemi nedeniyle mutlaka ısıtılması gerektiğini göstermektedir (Zabeltitz, 1992).

Akdeniz sahil şeridindeki ülkelerde seralarda yapılacak ısıtma, kaliteli yüksek verimin elde edilmesi yanında, kimyasallar için yapılacak harcamaların azalmasına neden olabilecektir. Bu durum çevre bilincine erişmiş toplumlarda oldukça önemli olup insan sağlığı ve çevre için büyük bir önem taşımaktadır. Isıtılmayan seralarda ortaya çıkan yüksek oransal nem hastalıklara neden olduğu gibi, aynı zamanda örtü malzemesinin iç yüzeyinde yoğunlaşarak seraya ulaşan güneş radyasyonunu %15 oranında azaltmaktadır (Zabeltitz, 1988; Baytorun ve ark, 1994).

Artan sera yapılarının tarımsal üretime katkısının artırılması, daha fazla ve daha kaliteli ürün elde edilebilmesi için soğuk seracılık yerine ısıtılabilen sera yapılarına yönelim sağlanması gerekmektedir. Bitkilerin büyüme ve gelişmeleri için sera içi sıcaklığının belli sınırlar arasında tutulması gerekir. Soğuk dönemlerde seraların ısıtılması verimde kalite ve verim açısından büyük artışlar sağlamaktadır (Tantau, 1983; Zabeltitz, 2011; Baytorun ve ark. , 2016). Seralardan kaliteli yüksek

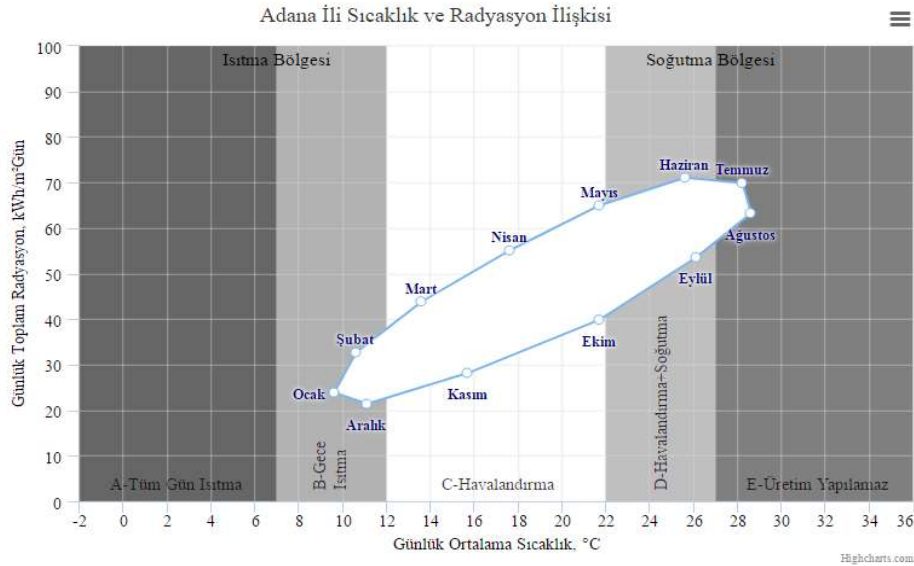
verim alabilmek için kış ayları boyunca dış sıcaklık ne olursa olsun iç sıcaklığın türlere göre değişen kritik bir sıcaklığın altına düşürülmemesi gerekmektedir.

Bitki büyüme ve gelişmesi bakımından, seralarda yetiştirilen bitki türlerinin iklim istekleri tarafından(Verlodt 1990; Krug, 1991; von Elsner ve ark,2000) aşağıdaki gibi özetlenmiştir;

- Serada mutlak en düşük sıcaklık 0°C'nin üzerinde olmalıdır. Aksi takdirde bitkiler dondan zarar görerek ölebilir. Dış ortamda günlük en düşük sıcaklık 7 °C'den yüksek olduğunda, 0°C'nin altındaki sıcaklıkların olumsuz etkileri göz ardı edilebilir.
- Seralarda yetiştirilen bitkiler, esas olarak 17–27 °C aralığında değişen ortalama sıcaklıklara adapte olmuşlardır. Serada güneş ışıınının ısıtma etkisi de dikkate alındığında, ısıtma yapılmayan seralar için, dış ortamda istenilen günlük ortalama sıcaklık 12–22 °C aralığında olmalıdır.
- Günlük ortalama dış sıcaklık 12 °C'den daha düşük ise, seraların özellikle gece saatlerinde ısıtılması gerekir. Günlük ortalama sıcaklık 22 °C'den daha yüksek olduğunda (Akdeniz ülkelerinde yaz mevsiminde), serinletme gereklidir. Ortalama sıcaklığın 12–22 °C arasında olması durumunda doğal havalandırma yeterlidir.
- Bitki büyüme ve gelişmesi için mutlak en yüksek sıcaklık 35–40 °C'den daha yüksek olmamalıdır.
- Kış mevsiminde Kasım, Aralık ve Ocak aylarında. 3 ay süresince güneşlenme süresi en az 500–550 saat olmalıdır.
- Günlük güneş ışıınımı toplamı 2300 Wh.m⁻²gün olmalıdır. Verimli bir üretim için, günlük güneş ışıınımına ilişkin sınır değer 1000 Wh.m⁻² gün'dür.
- Toprak sıcaklığı için en düşük değer 15 °C olmalıdır.

- Domates, biber, hıyar, kavun ve fasulye gibi ısıtma gerektiren bitki türleri için gece sıcaklığının ortalama 15–18.5 °C olması önerilir.
- Bağıl nem % 70–90 aralığında olmalıdır.

Son yıllarda yüksek donanımına sahip modern seraların kurulduğu Adana ilinin günlük ortalama sıcaklık ve toplam radyasyon değerleri Şekil 1.1’de verilmiştir.



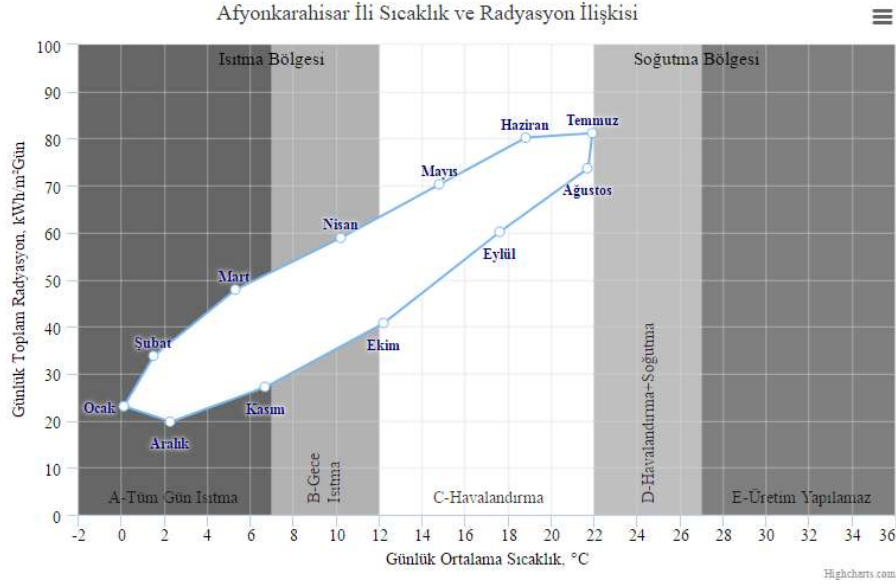
Şekil 1.1. Ilıman İklim Sahip Adana İlinin Günlük Ortalama Sıcaklık ve Günlük Toplam Radyasyon Değerleri

Yukarıda verilen sınır faktörlerine bağlı olarak Adana iklim koşullarında serada üretimin yapılması durumunda seraların kışın ısıtılması, yazın soğutulması ve geçiş dönemlerinde havalandırılması gereklidir. Adana iklim koşullarında günlük ortalama sıcaklık değerleri Aralık, Ocak ve Şubat aylarında 12°C'nin altına düşmektedir. Belirtilen aylarda seralarda ısıtma yapma zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Ancak Aralık, Ocak ve Şubat aylarında günlük ortalama sıcaklık

değerleri 7°C'nin altına düşmediği için seralarda sadece gece saatlerinde ısıtma ihtiyacı ortaya çıkmaktadır (Baytorun ve ark,2012)

Akdeniz iklim koşullarında seralarda tüm yıl üretim yapabilmek için seraların kışın gece saatlerinde ısıtılması bahar aylarında havalandırılması ve yaz aylarında ise soğutulması gerekmektedir. Ancak yaz aylarında seralarda yapılan üretiminden elde edilen ürünün dış iklim koşullarında yetiştirilmesi ve yapılan soğutma işlemlerinde temiz su ve elektrik enerjisi gereksinimi yüksek olduğundan seralarda soğutma yapılmamakta ve seralar bu dönemlerde boş bırakılmaktadırlar.

Son yıllarda Jeotermal seracılığın yaygın olarak genişlemeye başladığı illerden birisi olan Afyonkarahisar ilinin günlük ortalama sıcaklık ve günlük toplam radyasyon değerleri Şekil 1.2'de verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi karasal bir iklime sahip Afyonkarahisar ilinde seracılığın yapılması durumunda seraların soğuk dönemlerde ısıtılması, geçiş ve sıcak dönemlerde sadece havalandırılması yeterli olmaktadır. Diğer bir ifade ile karasal iklimin hakim olduğu bölgelerde seraların ısıtılması ve havalandırılması tüm yıl üretim yapabilmek için yeterli olacaktır. Ancak karasal iklimin hakim olduğu bölgelerde düşük sıcaklıklar nedeniyle ısıtma ekim ayından nisan ayının ortalarına kadar devam etmektedir. Bu durum üretim maliyetlerinin artmasına neden olmaktadır (Baytorun, 2017)



Şekil 1.2. Karasal Ilıman İklim Sahip Afyonkarahisar İlinin Günlük Ortalama Sıcaklık Ve Günlük Toplam Radyasyon Değerleri

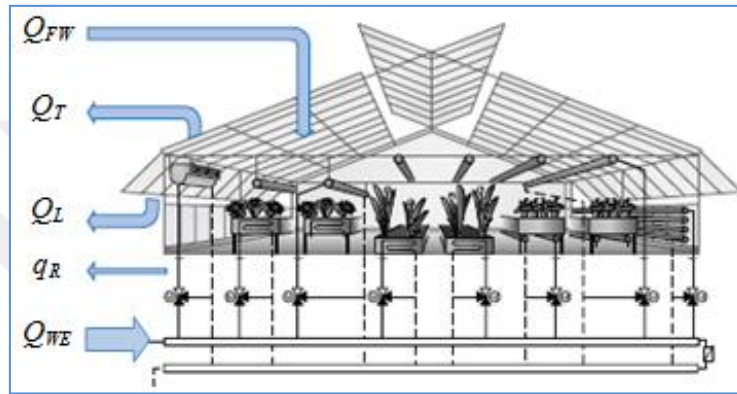
Örtü altı yetiştiriciliğinde başlıca amaç, iç ortam sıcaklığını en uygun düzeyde sürdürmektir. Seralarda gerçekleştirilen bitkisel üretimden beklenen en yüksek verimin elde edilmesi için, dış ortam sıcaklığının düşük olduğu dönemlerde seralar ısıtılmalıdır (Öztürk, 2011)

Modern seraların maliyetleri dikkate alındığında elde edilecek verimin en yüksek değerlere ulaştırılması sürdürülebilirlik açısından önemlidir. Seralarda ısıtmanın yararları; Kaliteli ve yüksek verim elde edilmesi, Serada düşük sıcaklık ve yüksek nem probleminin giderilmesi, Tarımsal ilaç ve hormon kullanımının azaltılmasını sağlanması şeklinde özetlenebilir (Zabeltitz 2011).

Seralarda ısıtma sistemlerinin doğru olarak projelenmesi ve yıllık ısı tüketimlerinin sağlıklı olarak hesaplanabilmesi için ortaya çıkan ısı kayıplarının gerçeklere yakın olarak belirlenmesi gereklidir. Seralarda meydana gelen ısı kayıpları, sera örtü malzemesinin ısı iletimi, örtü malzemesi yüzeyindeki

istenmeyen aralıklarından meydana gelen istek dışı ısı kayıplarından oluşmaktadır (Yağcıoğlu, 2009)

Seralarda gerekli ısı gücünün belirlenmesi enerji dengesi yönteminden gidilerek geliştirilen basit eşitlikler yardımı ile belirlenebilmektedir (Zabeltitz, 1986).



Şekil 1.3. Sera Enerji Dengesi Hesaplamalarında Kazanılan Ve Kaybedilen Isı Akıları

Şekil 1.3'te serada kazanılan ve kaybedilen ısı akıları verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi serada ortaya çıkan ısı akıları, ısıtma kazanı tarafından üretilen ısı enerjisi (Φ_{WE}), seranın herhangi bir şekilde ek (Güneş enerjisi v.b) olarak kazandığı ısı enerjisi (Φ_{FW}), örtü malzemesinden transmisyonla kaybolan ısı (Φ_T) ve havalandırma (Φ_L) ile dış ortama taşınan ısı akılarından oluşmaktadır.

Seralarda ısı gereksinimi, belirlenmiş sınır koşullarına ve araştırmalarla belirlenmiş katsayılarla bağlı olarak hesaplama yoluyla bulunan değerdir. Sera ısı gereksinimi, seradan kaybolan ısı miktarına eşittir. Seralarda ortaya çıkan ısı kaybı, ısı transferinin üç şekli olan kondüksiyon, konveksiyon ve radyasyon ile meydana gelmektedir. Genellikle ısı değişimleri aynı anda meydana gelir. Seralarda ısı gereksinimi Eşitlik 1.1 temel ilişkisi ile belirlenmektedir (Meyer, 2008; Tantau, 2013).

$$\Phi = U_{cs} * A_H * (\theta_i - \theta_e) - q_{sol} * A_G * \tau * \eta \text{ (W)} \quad [1.1]$$

Eşitlik 1.1'deki ısı gereksinim katsayısı (U_{cs}) farklı faktörler tarafından etkilenmektedir. Bunlar sırasıyla örtü malzemesinin çeşidi, sera donanımı, rüzgar hızı, gökyüzü koşulları (bulut, gökyüzü sıcaklığı) ısıtma sistemi ve seradaki evapotranspirasyona bağlı olarak havadaki latent (gizli) ısı miktarıdır. Eşitlik 1.1'in ikinci bölümü gün boyu güneşten kazanılan enerjiyi tanımlamaktadır. Eşitlikteki τ örtü malzemesini ısıtım geçirgenliğini ifade ederken, η değeri güneşten seraya ulaşan ısıtımın ne kadarının duyulur (sensible) ısıya dönüştüğünü ifade etmektedir. η değeri üretimin yapılmadığı boş sera için 1,0 olarak kabul edilirken, yaprak alan indeksi (LAI) yüksek olan domates veya hıyar gibi bitkilerin yetiştirildiği sera için 0'a kadar düşebilmektedir (Tantau, 2013)

Serada ısı gereksiniminin hesaplanmasında kullanılan Eşitlik 1.1'den görüleceği gibi ısı tüketiminin hesaplanmasında çok az parametreye ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak hesaplama için gerekli olan bu parametreler seranın sahip olduğu donanım ve serada üretilen bitki çeşidine göre belirlenmelidir. Isı gereksinim katsayısı (U_{cs}), örtü malzemesinden transmisyonla ortaya çıkan ısı iletim katsayısı (U_T) ve serada istenmeyen açıklıklardan meydana gelen hava değişimine bağlı geçirgenlik katsayısının (U_L) toplamından oluşmaktadır (Eşitlik 1.2) (Zabeltitz, 2000; Tantau 2013). U_L değeri sera yapısının yalıtımına bağlı olarak U_{cs} değerinin yaklaşık % 10-30'u arasında değişmektedir. Sera sızdırmazlığı ısı kaybı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Zabeltitz, 2011)

$$U_{cs} = U_T + U_L \quad (\text{W.m}^{-2}\text{K}^{-1}) \quad [1.2]$$

Toplam ısı gereksinim katsayısı, seralarda ısı gereksiniminin hesaplanmasında temel parametrelerden biridir ve daha önce de belirtildiği gibi seranın yapısal özellikleri ile başta örtü malzemesi olmak üzere, sera donanımı rüzgâr hızı ve dış ortam iklim koşullarına bağlı olarak değişiklik gösterir. Isı

gereksinim katsayısı (U_{cs}) üzerinde ana belirleyici faktörler, ısıtma sistemi ve enerji tasarrufu için kullanılan ısı perdesi de dâhil sera örtü malzemesidir (Zabeltitz 2011) .

Yukarıda belirtilen açıklamalar çerçevesinde seralarda ısı gereksiniminin belirlenmesinde en önemli parametreyi ısı gereksinim katsayısı oluşturmaktadır. Belirtilen nedenle yapılan bu çalışmada; Akdeniz iklim koşullarında son yıllarda kurulan ileri teknolojiye sahip plastik seralarda üretici koşullarında toplam ısı gereksinim katsayısının belirlenmesi ve elde edilen bulguların teorik olarak hesaplanan değerlerle karşılaştırılması amaçlanmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Türkiye’de Seracılığın Genel Durumu

Osmanlı İmparatorluğu’nun son ve Cumhuriyet Dönemi’nin ilk yıllarında ticari olarak üretimin söz konusu olduğu seralar Yalova’da bulunmaktaydı. Türkiye Cumhuriyetinin kurulmasından sonra seracılık 1940’lı yıllarda tarımsal kuruluşlarda araştırma amacıyla başlamıştır. 1940- 1960 yılları arasında Antalya ve İzmir’de az sayıda ticari sera kurulmuştur. 1970 yılından sonra saydam plastik (Polietilen) örtü malzemesi olarak kullanılmaya başlamasıyla seracılık büyük gelişme göstermiştir. Seracılık, bugün Akdeniz ve Marmara kıyıları boyunca yaygınlık kazanmış, 1970’li yıllardan sonra ise hızla gelişmiştir. Ülkemizde de 1940’lı yıllarda başlayan seracılık geniş oranda ekolojiden yararlanıldığı ve sera yetiştiriciliğinin büyük pazarların yakınında gelişme gösterdiği görülmektedir. Ekolojiden yararlanan seralarımız özellikle kış aylarının ılıman geçtiği mikroklima alanlarında yer almaktadır. Bu yönü ile Türkiye seracılığı ekolojinin uygunluğundan yararlanılarak turfanda ürün yetiştirir niteliktedir. (Öneş, 1986)

Türkiye'deki seralar konstrüksiyon açısından incelendiğinde, 80'li yılların ortalarına kadar yaygın olarak ahşap-plastik ağırlıklı olarak inşa edilmişlerdir. Ancak daha sonraki yıllarda üreticinin çelik profil ve borulu konstrüksiyonlara yöneldiği görülmekle birlikte, projelerin uzman teknik elemanlar tarafından yapılmaması nedeniyle yapısal problemlerin devam ettiği izlenmektedir (Baytorun ve ark 1995).

Seralarda ortaya çıkan en önemli teknik sorunlar; örtü malzemesi, havalandırma, ısıtma, gübreleme, gölgeleme, soğutma, ısı korunumu ve yapısal sorunlar olarak sıralanabilir.(Önder,1999a)

Ülkemizde seracılık özellikle 1995 ve sonrasında gelişme kaydetmiştir. 1995 yılında 36,30 ha olan sera varlığımız 2014 yılı itibari ile 64,91 ha ile yaklaşık iki katına çıkmıştır (Topuz, 2007).

Örtü altı yetiştiriciliği birim alandan daha fazla ürün alınması, üreticinin daha küçük alanlardan geçimini sağlayabilmesi, üretimin tarım için çok zor olduğu kış aylarında yapılması nedeniyle, Türkiye’de son yıllarda hızla gelişmektedir. Türkiye’de 2011 yılında 51 ilde örtüaltı tarımı yapılırken 2014 yılı itibarıyla 70 ilde örtü altı üretim yapılmaktadır (TÜİK, 2014)

Türkiye’de seraları, tiplerine, sahip oldukları donanım ve teknolojiye göre; düşük teknolojiye sahip seralar, orta teknolojiye sahip seralar yüksek teknolojiye sahip modern seralar olmak üzere 3 grup altında incelemek mümkündür (Baytorun, 2016b).

Türkiye’de seralara işletme yapısı ve büyüklükleri yönünden bakıldığında, seraların aile işletmeleri şeklinde ve küçük alanlara sahip oldukları görülür. Bölgelere göre Türkiye seralarının ortalama büyüklükleri 500-1400 m² arasında değişmektedir (Baytorun ve ark 1994). Küçük ölçekli aile işletmelerinde teknoloji kullanımı sınırlı olup, üretim genellikle sadece don zararından korunmaya yönelik önlemlerin alındığı basit yapılar şeklinde sürdürülmektedir. Geleneksel sera işletmelerinin yanında, son yıllarda büyük kapalı alanlara (10 da ve fazlası) sahip, iklim kontrolü yapılan, topraksız yetiştirme tekniklerinin uygulandığı, ziraat mühendisi ve teknisyenlerini kalıcı kadroyla istihdam eden modern işletmelerin de yaygınlaşmaya başladığı görülmektedir (Tüzel ve ark., 2005).

Son yıllarda kurulan modern seralarda en büyük üretim giderini ısıtmada kullanılan yakıt oluşturmaktadır. Araştırmacılar, seralarda ısıtma ve enerji harcamalarını azaltmak amacıyla, yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının (jeotermal, güneş, rüzgâr, biyokütle v.b) kullanılması ve ısı kayıplarını azaltıcı sistemlerin geliştirilmesine yönelik çalışmalar yapmaktadır (Yağcıoğlu, 1999).

Güneşten gelen enerjinin % 25- 35'i sera örtü yüzeyi, % 10'u ise yapı malzemesi tarafından tutulmaktadır. Geriye kalan % 55-65'lik kısım ise sera içerisine girmekte ancak bu güneş enerjisinin % 10'u yansımayla kaybolmaktadır. Böylece güneşten gelen toplam ısı enerjisinin serada yararlı şekle dönüşen kısmı yaklaşık olarak % 45-50 arasındadır (Yüksel, 2000).

Son yıllarda sera ısıtmasında kullanılan önemli kaynaklardan biri jeotermal kaynaklardır. Türkiye jeotermal kaynaklar bakımından Dünya'da 7. Avrupa'da ise 1. sıradadır. Son yıllarda jeotermal seracılık ciddi anlamda gelişim göstermiştir. Türkiye'de jeotermal seracılık kurulu kapasite miktarı, toplam kurulu kapasite miktarının % 21'ini; sera ısıtmasında kullanılan yıllık enerji miktarı ise toplam yıllık enerji kullanımının yaklaşık % 26'sını oluşturmaktadır (Anonim, 2015a).

Türkiye'de üretim yapılan 37,96 ha toplam sera varlığının, yaklaşık olarak 1,3 ha (% 3) ısıtma yapıldığı düşünülmektedir. Seraların ısıtılmasında kullanılan başlıca enerji kaynakları, kömür ve jeotermal enerjidir. Isıtma yapılan toplam sera varlığının, 0,3 ha (% 30) kısmında jeotermal ısıtma yapılmaktadır. Topraksız tarım üretimi yapılan yaklaşık 0,9 ha modern seralarda düzenli ısıtma yapılmaktadır. Topraksız tarım üretimi yapılan sera alanlarında, ısıtma amaçlı kullanılan başlıca enerji kaynakları arasında kömür (% 57,2) ve jeotermal enerji (% 38,1) yer almaktadır. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, 2015, Topraksız tarım üretimi yapılan seralarda, ısıtma amaçlı olarak kullanılan enerji kaynakları ve bu enerji kaynakları ile ısıtılan sera varlıkları Çizelge 2.1 'da verilmiştir (Anonim, 2015a).

Çizelge 2.1. Türkiye'de Farklı Enerji Kaynakları İle Isıtılan Modern Sera Büyüklükleri (da)

Isıtmada kullanılan enerji kaynağı	Plastik sera	Cam sera	Toplam	%
Kömür	4.797	472	5.270	57,2
Jeotermal	3.065	446	3.511	38,1
Doğalgaz	115	46	161	1,7
Buhar	5	148	153	1,7
Fueloil	50		50	0,5
Güneş enerjisi	23		23	0,2
LNG	13		13	0,1
Biyogaz		11	11	0,1
Diğer	20		20	0,2
Toplam	8.088	1.123	9.211	100

Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı verilerine göre, 2015 yılı itibariyle Türkiye’de 12 ilde jeotermal seracılık yapılmaktadır. Jeotermal seracılık, Ege, İç Anadolu ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerine yayılmıştır. En büyük jeotermal sera alanının, 81,9 ha ile İzmir ilinde bulunmaktadır. İzmir’in ardından Manisa, Afyon, Denizli, Şanlıurfa ve Kütahya illeri önemli jeotermal sera varlığı ile dikkat çekmektedir. Jeotermal ısıtmalı seralarda ortalama işletme büyüklüğü yaklaşık 2,1 ha civarındadır. Jeotermal kaynakların bulunduğu yerlerde kurulan seralarda ağırlıklı olarak plastik örtü kullanılmaktadır (Anomin, 2015b).

2.2. Seralarda Isıtmanın Verim ve Kalite Üzerine Etkileri

Bütün dünyada sera yetiştiriciliği, hızla gelişen ve rekabet edebilir özellikte olan bir tarım sektörüdür. Bununla birlikte, bölgesel iklim koşulları sera tasarımını etkiler. Bitkilerin genel istekleri ve bölgesel iklim koşulları, sera yapılarında belirli özelliklerin bulunmasını gerekli kılmaktadır. Bununla birlikte, yöresel gelenekler sera tasarımında önemli bir etkiye sahip olabilmektedir. Bir bölgede örtü altı tarımı yapıp yapılamayacağını belirlemek için en basit ve etkin yöntem, bölgenin iklim

verilerini sera tarımı yapılan diğer bölgelerin iklim verileriyle karşılaştırmaktır. Sonuç olarak, sıcaklık seranın işlevi için en kritik iklim etmenidir (Öztürk,2014)

Seralardan yüksek verimin yanında her zaman kaliteli verimin alınması arzulanır. Kalitesiz ürün alınmasına neden olan ana faktörlerden bir tanesi sera içi iklimidir. Bitkilerde fizyolojik fonksiyonları için gerekli sıcaklıklar: Bitkilerin, 7°C'nin altında ve 38°C'nin üstündeki sıcaklıklarda büyük çoğunluğunun biyolojik fonksiyonları durur. Bitki familya, cins, tür ve çeşitlerinin sıcaklık istekleri birbirlerinden oldukça büyük farklılıklar göstermektedir. Bitkilerde en düşük büyüme sıcaklığı, en düşük çimlenme sıcaklığından birkaç derece daha yüksektir. Genellikle bitkilerin büyük çoğunluğunun fotosentez için istedikleri en uygun sıcaklık dereceleri, solunum için gerekli olan sıcaklık derecelerinden oldukça düşüktür. Bitki çeşitlerinin kök gelişmelerinde istedikleri en uygun sıcaklık dereceleri ise, genellikle toprak üstü organlarının büyümek için istedikleri en uygun sıcaklık derecelerinden 5-6°C kadar daha düşüktür. Hava sıcaklığı 0°C'nin üstünde fakat bitkinin minimum büyüme sıcaklığının altında kalırsa, bitki uyku devresine girer. Bu uyku devresinde solunumla harcanan besin maddeleri fotosentezle karşılanamadığından bitkilerde sararma ortaya çıkar (Eser,1986).

Bitkiler normal gelişmelerini tamamlayabilmeleri için en uygun sıcaklık derecesinde belirli bir süre geçirmeleri gerekir. En uygun veya optimum sıcaklığın tanımını yapmak zordur. Çünkü bitkiler için en uygun sıcaklık, havanın nem oranı ve ışıktanma gibi etmenlerle yakından ilgilidir. Aslında her bitki türü için en uygun sıcaklık derecesinin sınırları farklıdır. Fakat sera sıcaklığının soğuk günlerde 15 °C'den düşük, güneşli ve sıcak günlerde 30 °C'den yüksek olmaması istenir. Çeşitli bitkiler için en uygun sera sıcaklıkları (°C) Çizelge 2.2'de verilmiştir (Eser,1986).

Çizelge 2.2. Çeşitli Bitkiler İçin En Uygun Sera Sıcaklıkları

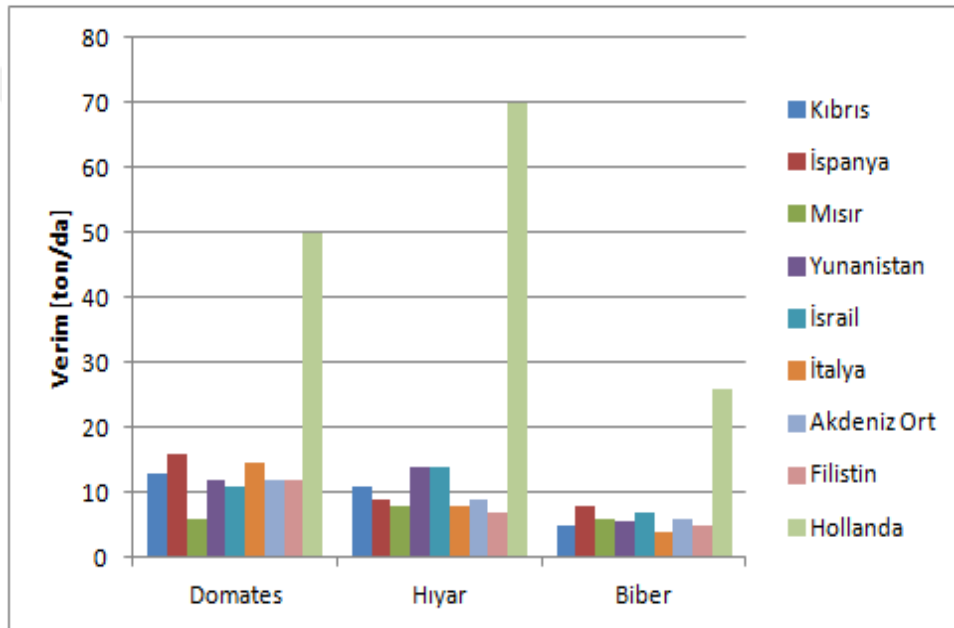
Bitki	Gündüz sıcaklığı(°C)	Gece sıcaklığı(°C)	Havalandırma Sıcaklığı(°C)	En yüksek sıcaklık(°C)
Domates	18-20	15-17	22-24	27
Biber	18-20	15-17	22-24	27
Patlıcan	18-20	15-17	22-24	27
Bamya	18-20	15-17	22-24	27
Hıyar	22-25	16-20	27	30
Fasulye	21	15	23-25	27
Bezelye	21	15	23-25	27

Seralarda düşük sıcaklık ve yüksek nem sorununu çözmek için alınabilecek önlemlerden biri de ısıtmadır. Seralarda nitelikli ve nicelikli verimin elde edilebilmesi için günlük ortalama dış sıcaklığın 12 °C'nin altına düşmesi durumunda ısıtma zorunluluğu vardır (Zabeltitz, 1992). Düşük sıcaklık ve yüksek nem bir yandan fiziksel, kimyasal ve aromatik kalite noksanlığı oluştururken, diğer yandan yoğun tarımsal savaş ilacı ve hormon kullanımını zorunlu kılmaktadır. Türkiye'de Bombus arısı kullanılan işletmelerde 78 kg.ha⁻¹ ilaç kullanılırken, Bombus arısı kullanmayan işletmelerde bu değer 357 kg.ha⁻¹'a yükselmektedir (Karaman ve Yılmaz, 2006).

Seralarda ısıtmanın verim ve kalite üzerinde büyük etkileri bulunmaktadır. Ancak Türkiye'de seracılığın yaygın olarak yapıldığı Akdeniz sahil şeridinde, aylık ortalama sıcaklığın 7°C'nin altına düşmemesi nedeniyle, basit sera yapılarına sahip işletmelerde soğuk seracılık tercih edilmektedir. Bu durum verim düşüklüğü yanında, düşük sıcaklık ve yüksek nem nedeniyle ortaya çıkan hastalıklara karşı zorunlu olarak ilaç ve kimyasal kullanımını artırmaktadır. Akdeniz ülkelerinde ısıtılmayan seralarda yapılan domates üretiminden 7–15 kg.m⁻² verim alınırken, modern seracılığın yaygın olarak yapıldığı Hollanda'da, üretim periyodunun 52 haftaya kadar uzaması ve üretimde modern teknolojilerin kullanılması nedeniyle, domates verimi 50 kg.m⁻²'ye kadar yükseltilebilmiştir (Zabeltitz 2011).

Isıtılan seralarda verim, ısıtılmayan seralara oranla ciddi anlamda farklılıklar göstermektedir. Şekil 2.1'de Hollanda ve Akdeniz ülkelerindeki seralarda üretilen

farklı ürünlerin verim değerleri verilmiştir (Leonardi ve Pascale 2010). Şekilden de görüleceği gibi, modern seralara sahip Hollanda'da, ısıtılan seralardan farklı ürünler için birim alandan alınan verim, diğer Akdeniz ve Afrika ülkelerinde ısıtmasız seralardan elde edilen verimden oldukça fazladır. Bunun da nedeni, seralarda uygulanan modern tarım teknolojileri yanında, üretim periyodunun Akdeniz ülkelerinden daha uzun olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 2.1. Akdeniz'deki Farklı Ülkelerde Isıtmasız Seralarda Ve Hollanda'da Isıtmalı Modern Seralarda Elde Edilen Farklı Ürünlerin Verim Değerleri

Türkiye'de ısıtmasız sera koşullarda üretim periyodunun uzunluğuna bağlı olarak 7 - 11 kg.m⁻² domates verimi alınmaktadır. Tek ürün yetiştiriciliğinde verim 12 - 15 kg.m⁻² arasında değişim gösterirken, sonbahar üretiminde verim 7 - 10 kg.m⁻²'ye düşmektedir (Rad ve Yarşı,2005; Daka vd. 2012). Daka vd. (2012) yaptıkları anket çalışmalarında üreticilerin %90'ının ısıtmasız sera koşullarında 10 kg.m⁻² ve üstünde domates verimi elde ettiklerini belirlemişlerdir.

Türkiye'de seralarda yapılan domates üretiminde üretim periyodunun uzunluğuna ve sera donanımına bağlı olarak elde edilen domates verimleri Çizelge 2.3'te verilmiştir. Çizelgeden de görüleceği gibi ısıtmasız koşullarda yapılan ilkbahar ve sonbahar üretimlerinden elde edilen domates verim değerleri 7 - 10 kg.m⁻² arasında değişmektedir. Sera donanımının iyileştirilmesi ve serada yapılan ısıtmaya bağlı olarak elde edilen domates verimi 50-55 kg.m⁻²'ye kadar yükselebilmektedir (Baytorun ve ark, 2016).

Çizelge 2.3. Sera Donanımına ve Üretim Periyodunun Uzunluğuna Bağlı Olarak Domates Verim Değerleri (kg.m²)

Sera tipi ve donanımı	Üretim periyodu	Toplam üretim kg.m ⁻²	1.Kalite (%)	Net üretim kg.m ⁻²	Net üretim artışı (%)
Basit serada sonbahar üretimi	Ağustos-Şubat	7-10	60	5,1	-
Basit serada ilkbahar üretimi	Ocak-Haziran	8-11	65	6,2	21
Basit serada tek ürün	Ekim-Haziran	12-15	60	8,1	58
Modern sera, koruma amaçlı basit ısıtma	Eylül-Haziran	24-28	75	19,5	280
Modern sera + topraksız üretim + ısı korumalı + ısıtma	Eylül-Haziran	32-36	80	27,2	430
Yarı kapalı sera, Bilgisayar kontrollü + Topraksız kültür + ısıtma + soğutma + CO ₂	12 ay	50-55	85	51,0	1000

Isıtmanın ürün kalite ve miktarına etkisi büyüktür. Baytorun ve ark,(1999) Adana iklim koşullarında serada farklı sıcaklık değerlerinde üretilen domates bitkisinde verim karşılaştırması yapmışlardır. Plastik örtü ile kaplı ısıtılmayan serada Aralık-Şubat döneminde ortalama minimum sıcaklık 8,2°C'de seyrederken, ısıtılan serada üç aylık dönemde ortalama minimum sıcaklık 11,5°C olmuştur. Seralarda Haziran ayının 2. haftasında üretime son verildiğinde, ortalama minimum

sıcaklığın 8,2°C olduğu serada domates verimi 19 kg.m⁻² olurken, ortalama minimum sıcaklığın 11,5°C'de tutulduğu serada, bu değer 24 kg.m⁻² olmuştur. Çizelge 2.3'te ısıtılan ve ısıtılmayan seraların, farklı donanımlarına bağlı olarak elde edilen domates verim değerleri verilmiştir. Çizelgeden de görüleceği gibi ısıtılan ve modern üretim tekniklerinin uygulandığı seralardan alınan domates verim değerleri, ısıtılmayan seralarla karşılaştırılmayacak kadar farklıdır (Baytorun ve ark, 2016b).

Serada üretilen bitkilerin arzuladıkları sıcaklık değerleri farklılıklar göstermektedir. Ülkemiz seralarında en fazla üretilen ürünlerin başında domates bitkisi gelmektedir. Çizelge 2.4'da Farklı iklimlere sahip Antalya ve Kırşehir illerinin aylık ortalama sıcaklık ve günlük toplam radyasyon değerleri ile aylara bağlı iklimlendirme önlemleri ve elde edilen verim değerlerinin farklılıkları gösterilmiştir.

Çizelge 2.4. Aylık Ortalama Sıcaklık ve Günlük Toplam Radyasyon Değerleri İle Aylara Bağlı İklimlendirme Önlemleri

Aylar	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Hazir.	Temm	Ağust	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	
Yer	ANTALYA												
Top.radyas. (kWh.m ² gün)	2,1	2,5	4,3	5,4	6,3	6,9	6,6	6,14	5,16	3,9	2,5	1,9	
Ortalama sıcaklık (°C)	9,9	10,4	12,8	16,1	20,3	25,1	28,2	28,0	24,9	20,3	15,1	11,4	
İklimlendirme	ISITMA		HAVALAN + GÖLGELEME				BOŞ		HAVALAN.+ GÖLGE.			ISITM	
Üretim Periyodu	HASAT						BOŞ		DİKİM		HASAT		
Verim	30-32 kg.m ⁻² DOMATES												
Yer	KIRŞEHİR												
Top.radyas. (kWh.m ² gün)	1.7	2.3	3.8	4.8	6.0	6.4	6.4	5.8	4.8	3.4	2.0	1.5	
Ortalama sıcaklık (°C)	-0,3	1,1	5,5	10,7	15,2	19,5	22,9	22,7	18,4	12,6	6,2	1,8	
İklimlendirme	ISITMA				HAVALANDIRMA + GÖLGELEME						ISITMA		
Üretim Periyodu			HASAT									DİKİM	
Verim	40 kg.m ² DOMATES CO ₂ Gübrelemesi ile 50-55 kg/m ² DOMATES												

Antalya iklim koşullarına göre seraların; Aralık-Şubat döneminde ısıtılması, Mart-Kasım döneminde ise havalandırılması ve gölgelendirilmesi gerekmektedir. Ortalama hava sıcaklığının 27°C'den daha yüksek olması nedeniyle seraların Temmuz ve Ağustos aylarında soğutulması gereklidir. Ancak soğutma giderlerinin fazla olmasından dolayı seralar Temmuz-Ağustos aylarında boş bırakılmaktadır. Belirtilen nedenlerden Akdeniz bölgesinde seralarda üretim periyodu on aydır. Karasal iklimin hakim olduğu Kırşehir ilimizde ise kasım-nisan döneminde günlük ortalama sıcaklık değerlerinin 7°C'nin altında olmasından dolayı seraların tüm gün ısıtılması gerekmektedir. Mayıs-Ekim döneminde ise seraların havalandırılması ve gölgelendirmesi yapılmaktadır. Yaz aylarında aşırı sıcaklıkların olmamasından dolayı üretim periyodu tüm sene boyunca devam etmektedir. Kırşehir'in üretim periyodunun daha uzun olması birim alandan elde edilen verimi artırmaktadır. Ancak hava sıcaklığının düşük olması ısıtma giderlerini artırmaktadır (Baytorun, 2017).

Serada domates bitkisi 16-27°C'ye adapte olmuştur (Verloot, 1990). Seralarda enerji tasarrufu amacıyla, gece sıcaklık değerlerinin, bitkinin arzuladığı biyolojik optimumun alt sınırında tutulması önerilmektedir. Belirtilen nedenle yapılan hesaplamalarda, serada gece sıcaklık değeri 16°C olarak kabul edilmiştir.

Domates, biber, hıyar, kavun ve fasulye için gece sıcaklığının sınır değeri 15-18.5°C arasında olmalıdır (Verloot, 1990). Anavatanı Meksika olan domates, sıcak çok seven bir yazlık sebzedir. Domatesin mevsim dışı olarak serada yetiştiriciliğinde kuşkusuz iklimsel faktörlerin düzenlenmesi gereklidir. Domates bitkisi gündüz 19 - 24 °C, gece 14 - 18 °C ve fide döneminde 13 - 20 °C sıcaklıklardan hoşlanmaktadır. 13°C'nin altındaki ve 35 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda polen oluşumunun gerçekleşmemesinden dolayı tozlanma-döllenme de oluşmamaktadır. En uygun tozlanma-döllenme sıcaklığı 18-30°C'ler arasındadır. Domates bitkisi diğer sera sebzelerine göre düşük sıcaklıklara en dayanıklılardan olmasına rağmen 10 °C'nin altında gelişme yavaşlar ve 0 °C civarında donar.

Yüksek sıcaklıklar da (35-40 °C) terleme olayım artırır, bitkinin solmasına, pörsümesine, yaprak ve meyvelerinde güneş yanıklarına neden olur (Abak ve ark,1994).

Seralarda ısıtma, kış dönemlerinde en çok enerji tüketen faaliyetlerden biridir. Yetersiz ısıtma yetiştirme süresi, verim, kalite ve ürün miktarı üzerinde olumsuz etki yapar (Santamouris ve ark, 1994).

Wiltner ve Teubner (1956), serada 10-13°C sıcaklık koşullarında yetiştirilen domates bitkilerinde, 18-21 °C'de yetiştirilen bitkilere göre vejetatif gelişmenin az, fakat çiçeklenmenin daha erken meydana geldiğini belirlemişlerdir.

Domateste kök bölgesi ısıtmasının etkisini belirlemek için Hollanda'nın değişik yerlerinde, değişik sezonlarda denemeler yapılmıştır. Yaz aylarında yapılan denemede kök bölgesi sıcaklığın 21 °C olması durumunda 20.6 kg/m² verim alınırken, 22-23 °C'de 18.1 kg.m⁻² verim elde edildiği bildirilmektedir. Bunun yanı sıra ısıtılmayan seralarda 16.8-20.8 kg.m⁻²verim alınmıştır. Sonbahar denemelerinde ise, bitki kök bölgesi ısıtılan seralarda 8.2-9.8 kg.m⁻² verim elde edilirken, ilkbahar denemelerinde ısıtılanlarda 15.9-20.5 kg.m⁻², ısıtılmayanlarda ise 15.4-22.7 kg.m⁻² verim elde edilmiştir (Hurd ve Graves, 1985).

Seralarda sıcaklıkların düşük olması büyümeyi azaltması, meyve tutumunu geciktirmesi nedeniyle hasat gecikebilmekte ve bu durum hastalıkları artırabilmektedir. Domateste kök bölgesi ısıtılmasının, erkenci verimi ve meyve kalitesini az da olsa azalttığı, meyve tutumu sırasında yapılan kök bölgesi ısıtılmasının ise sonuçta ürünü % 10 kadar artırdığı bildirilmektedir (Hurd ve Graves, 1985).

Sıcaklıklar 12°C altına düştüğünde veya 30°C'nin üzerine çıktığında, seradaki meyve ve sebzelerin kalitesi, verimi ve büyümesi etkilenir (Castilla ve Hernandez, 2007).

Sıcaklığın sınır değerine ulaştığı durumlarda ise bitki ölmektedir. Bu sınır değerine ulaşmamak için seradaki bitki sıcaklığı hiç bir koşulda 43°C'yi geçmemelidir (Mackroth, 1973).

2.3. Isı Enerjisi Gereksiniminin Belirlenmesinde Kullanılan Yöntemler

Isı gereksinimi (Φ) belirlenmiş sınır koşullarına ve araştırmalarla belirlenmiş büyüklüklere bağlı olarak hesaplama yoluyla bulunan büyüklüktür. Seralarda ısı gereksinimi, seradan kaybolan ısı miktarına eşittir. Seralarda ısı enerjisi gereksinimi farklı yöntemlere göre hesaplanabilmektedir. Yöntemlerden biri; aylık ortalama ve ortalama maksimum, minimum sıcaklık değerlerine göre yapılan hesaplamadır. Birçok araştırmada seralarda ısı gereksinimi, iklim değerlerinin ortalamalarından gidilerek hesaplanmıştır. Ancak iklim değerlerinin ortalamalarından gidilerek yapılan hesaplamalarda, özellikle geçiş dönmlerinde (Kasım, Mart, Nisan) düşük iç sıcaklık ($\theta_i < 18^\circ\text{C}$) değerlerinde büyük hatalar ortaya çıkmaktadır (Tantau, 1983). Ortalama sıcaklığın 15°C olduğu bir yerde serada sıcaklık 15°C istendiğinde o gün için ısıtma gereği olmadığı kabul edilir. Ancak günlük ortalama sıcaklığın 15°C olduğu koşullarda, gün içinde sıcaklık 15°C 'den küçük ve büyük olabilmektedir. Belirtilen nedenle ortalama değerlerden gidilerek yapılan hesaplamalar yanıltıcı olmaktadır. Seralarda ısı enerjisi gereksiniminin gerçek değerlere yakın olarak hesaplanabilmesi için saatlik iklim değerlerinin kullanılması, daha gerçekçi sonuçlar vermektedir (Zabeltitz, 2011; Baytorun ,2013)

Genelde seralarda ısı enerjisi gereksinimi, sıcaklık ortalamalarından gidilerek yaklaşık olarak belirlenmektedir. Serada gerçek ısı enerjisi gereksiniminin belirlenmesi, sera kurulacak yörenin saatlik iklim (sıcaklık, güneş radyasyonu ve rüzgâr hızı) değerlerine bağlı olarak yapılmalıdır (Zabeltitz, 2011; Baytorun ve ark, 2012).

Ülkemizde seracılık potansiyeline sahip, farklı bölgeler, farklı iç sıcaklık, farklı sera tipleri ve donanımlarına (ısı perdesi, iç ortam otomasyonu, seçilen ısıtma sistemi, sulama sistemi vb.) bağlı olarak saatlik iklim değerlerinden giderek hesaplanmış ısı gücü ve yıllık ısı enerjisi gereksinimi değerleri mevcut değildir (Üstün 1993, Baytorun ve ark. 2012). Ancak Baytorun ve ark., (2016) tarafından geliştirilen ISIGER-SERA uzman sistemle Türkiye'nin farklı illerinde kurulacak farklı donanımlara sahip seralarda ısı gücü ve ısı gereksiniminin hesaplanması mümkündür.

Seralarda ısı enerjisinin DIN 4701 standartlarında belirlenen esaslara göre saatlik sıcaklık değerlerinden gidilerek hesaplanması Eşitlik 2.1 yardımı ile yapılmaktadır (Zabeltitz, 1986; Tantau, 1983; Meyer 2008).

$$q_{cs} = \sum_{t=1}^{8760} \left(U_{cs} * \frac{A_s}{A_g} * (\theta_i - \theta_e) - q_{r,e} * T_r * \eta \right) \quad [2.1]$$

Eşitlikte;

- q_{cs} : Özgül ısı gereksinimi, ısı tüketimi [kWh.m⁻²]
- U_{cs} : Isı gereksinim katsayısı [W.m⁻²K⁻¹]
- A_s : Örtü yüzey alanı [m²]
- θ_i : İç sıcaklık [°C]
- θ_e : Dış sıcaklık [°C]
- A_g : Sera taban alanı [m²]
- $q_{r,e}$: Dış radyasyon değeri [W.m⁻²]
- T_r : Örtü malzemesinin geçirgenliği [-]
- η : Radyasyonunun duyulur ısıya dönüşüm faktörü [-]
- t : Zaman (8760 h=1) [h]

Seralarda ısı gereksiniminin Eşitlik 2.1 göre hesaplanmasında iç ve dış sıcaklık değerleri esas alınmaktadır. Ancak belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılmayan ve havalandırılmayan seralarda ortaya çıkan sıcaklık değerleri dış sıcaklık değerlerinden farklıdır. Belirtilen nedenle seralarda ısı gereksiniminin hesaplanmasından dış sıcaklık yerine serada ortaya çıkan gerçek sıcaklık ve serada

gün boyu depolanan sıcaklığa bağlı olarak ortaya çıkan sıcaklık yükselmesinin dikkate alınarak ısı gereksiniminin hesaplanması daha gerçekçi sonuçların elde edilmesini mümkün kılmaktadır (Rath, 1992).

Seralarda ortaya çıkan gerçek sıcaklık ve sıcaklık yükselmeleri dikkate alınarak saatlik iklim değerlerine bağlı ısı gereksiniminin belirlenmesi, Rath (1992) tarafından DIN 4701 standartlarına dayanarak geliştirilen Eşitlik 2.2 yardımı ile yapılabilmektedir.

$$\Phi_{cs} = \sum_{n=1}^{8760} \left((\theta_{in} - \theta_{i,oH_n} - \Delta\theta_{sp_n}) * U_{cs} * \sum_{r \in HFa} A_r * (1 - EE_{ES_n}) - Q_{YA} \right) * t_{si} \quad [2.2]$$

Eşitlikte;

Φ_{cs} :Seranın yıllık ısı enerjisi gereksinimi [Wh]

θ_i :Serada arzulan sıcaklık değeri [°C]

$\theta_{i,oH}$:Isıtmasız serada ortaya çıkan sıcaklık değeri [°C]

$\Delta\theta_{sp}$:Isıtılan serada enerji depolamaya bağlı iç sıcaklık yükselmesi (°C)

U_{cs} :Seranın dışa bakan yüzeylerinin toplam ısı iletim katsayısı (W.m⁻² K⁻¹)

A_r :Hesaplamayla belirlenen örtü yüzey alanı [m²]

EE_{ES} :Isı perdesi ile sağlanan ısı tasarrufu [-]

Φ_{YA} :Yapay aydınlatma ile sera ortamına verilen ısı enerjisi [Wh]

n : Yılın saatleri

t_{si} :Simulasyon zaman dilimi (1 h)

Ancak sera kurulan her yer için saatlik iklim değerlerinin (sıcaklık, güneş radyasyonu ve rüzgâr hızı) bulunması oldukça güçtür. Belirtilen nedenle ortalama sıcaklık değerlerinden ve ısıtma ihtiyacı duyulan gece saatlerinden gidilerek seralarda ısı enerjisi gereksiniminin belirlenmesi kabul edilebilmektedir.

Seralarda ısı gereksiniminin belirlenmesinde kullanılan bir diğer yöntem; sera kurulacak yerin ortalama maksimum (θ_{m-max}) ve ortalama minimum sıcaklık değerlerinin (θ_{m-min}) bilinmesi durumunda, Hallaire tarafından geliştirilen

yöntemdir. Bu yöntemle göre en düşük ve en yüksek sıcaklık ortalamalarından gidilerek saatlik gece ve gündüz ortalama sıcaklık değerleri aşağıdaki eşitlikler yardımı ile hesaplanmaktadır (Zabeltitz, 2011).

Gün için saatlik ortalama sıcaklık değeri;

$$\theta_h = \theta_{min-d} + f_d * A \quad [2.3]$$

Ortalama gece sıcaklığı;

$$\theta_{m-n} = \theta_{min-d} + A \frac{\sum f_n}{24-d_l} \quad [2.4]$$

Ortalama gündüz sıcaklığı;

$$\theta_{m-d} = \theta_{min-d} + A \frac{\sum f_d}{d_l} \quad [2.5]$$

$$A = \theta_{max-d} - \theta_{min-d} \quad [2.6]$$

θ_h :Saatlik sıcaklık [°C]

θ_{min-d} :Günlük en düşük sıcaklık ortalaması [°C]

A :Günlük maksimum ve minimum sıcaklık farkı [°C]

f_n ve f_d :Gece ve gündüz uzunluğuna bağlı katsayılar (Çizelge 2.5)

d_l :Gün uzunluğu [h] (Çizelge 2.5)

Gün boyu serada depolanan ısı enerjisi, serada bir miktar da olsa sıcaklık yükselmesine neden olmaktadır. Seralarda gün boyu depolanan ısı enerjisine bağlı olarak, serada ortaya çıkan ortalama sıcaklık yükselmesi 1-2°C alınabilir (Zabeltitz, 2011).

Eşitliklerdeki $\sum f_n$ ve $\sum f_d$ katsayıları gün uzunluğuna bağlı olarak Çizelge 2.5’de verilmiştir (Zabeltitz, 2011).

Çizelge 2.5. Gece ve Gündüz Uzunluğuna Bağlı Σfn ve Σfd Değerleri

dl	Σfn	Σfd
7	8,21	4,52
9	6	5,67
11	4,5	6,99
13	3,45	8,10
15	2,51	9,29
17	1,58	10,96

Hallaire'e göre ılıman iklim bölgelerindeki seralarda aylara bağlı olarak gece ve gündüz saatlerinde ihtiyaç duyulan ısı enerjisi gereksinimi aşağıda verilen Eşitlik 2.7 ve Eşitlik 2.8 yardımı ile hesaplanabilmektedir (Zabeltitz, 2011).

$$\Phi_{ay-gece} = U_{cs} * \left(\frac{A_c}{A_g} \right) * (\theta_{in} - \theta_{st} - \theta_{m-n}) * l_n * n_d \text{ Wh.m}^{-2}\text{ay} \quad [2.7]$$

$$\Phi_{ay-gündüz} = U_{cs} * \left(\frac{A_c}{A_g} \right) * (\theta_{id} - \theta_{st} - \theta_{m-d}) * l_d * n_d \text{ Wh.m}^{-2}\text{ay} \quad [2.8]$$

Eşitliklerde;

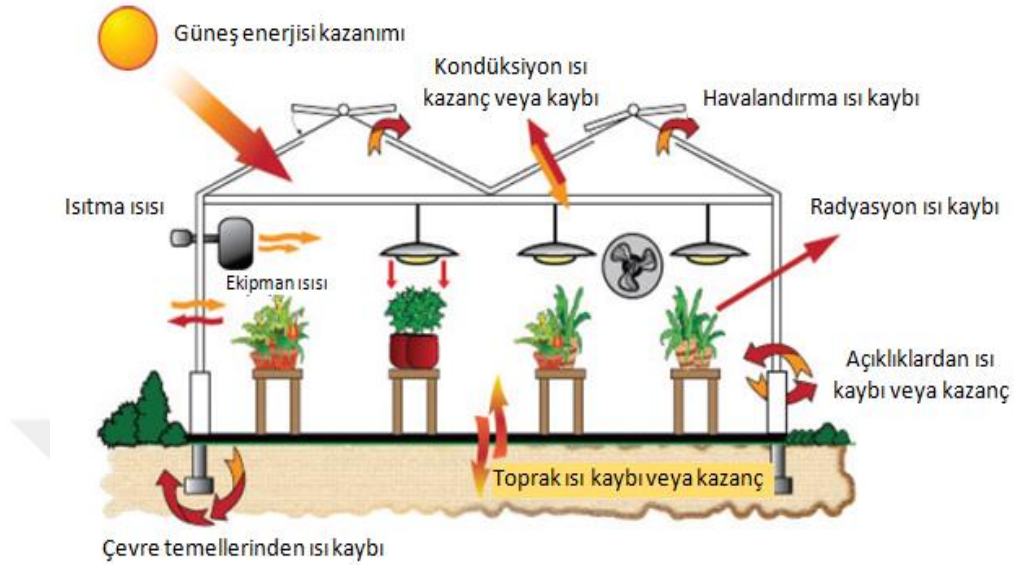
- U_{cs} :Toplam ısı gereksinim katsayısı ($\text{W.m}^{-2} \text{K}^{-1}$)
- A_c/A_g :Örtü yüzey alanının sera taban alanına oranı (-)
- θ_{id} :Serada arzulanen gündüz sıcaklık değeri ($^{\circ}\text{C}$)
- θ_{in} :Serada arzulanen gece sıcaklık değeri ($^{\circ}\text{C}$)
- θ_{m-n} :Ortalama gece sıcaklığı değeri ($^{\circ}\text{C}$)
- θ_{m-d} :Ortalama gündüz sıcaklığı değeri ($^{\circ}\text{C}$)
- θ_{st} :Serada sıcaklık yükselmesi ($^{\circ}\text{C}$)
- l_n :Gece uzunluğu (h)
- l_d :Gündüz uzunluğu (h)
- n_d :Isıtılan aya ait gün sayısı (d)

Yukarıda verilen farklı yöntemlere göre ısı enerjisi gereksiniminin hesaplanmasında ısı gereksinim katsayısına gereksinim duyulmaktadır. Belirtilen nedenle seralarda ısı gereksiniminin hesaplanmasında ısı gereksinim katsayısının dış iklim koşullarına, seranın özelliklerine ve serada üretilen bitkiye göre belirlenmesi büyük önem arz etmektedir.

2.4. Seralarda Ortaya Çıkan Isı Akıları

Seralarda enerji gereksinimi yapının kazandığı ve kaybettiği ısı akılarına göre belirlenmektedir. Serada iklim değerlerinin (sıcaklık, nem) değişmemesi için yapının kazandığı (Φ_{zu}) ve kaybettiği ısı miktarları (Φ_{ab}) eşit olmalıdır (Zabeltitz , 1986).

Seralarda ısı enerjisi ısıtma sistemi tarafından kondüksiyon, konveksiyon ve radyasyon yoluyla verilmektedir (Şekil 2.2). Isıtma sistemi tarafından ortama verilen ısıнын bir kısmı bitkilerde transpirasyonda (terleme) kullanılmakta ve sera havasına su buharı olarak eklenmektedir. Sera havasındaki ısı sera çatı iç yüzeyinde konveksiyon, radyasyon ve kondensasyon yoluyla dış ortama iletilmektedir. Kondensasyon serada bitkilerden oluşan terlemenin büyüklüğüne sera örtüsünün sıcaklığına bağlı olarak geniş bir aralıkta değişim gösterebilmektedir. Konveksiyon, ısıtma sistemi ve vantilatörlerin sağladığı hava hareketleri tarafından etkilenmektedir. Seradaki ısı akılarına sera tabanındaki toprakta ısıyı depolayarak veya ortama ısı vererek etkilemektedir. Seranın dış yüzeyinden ısı konveksiyon (Rüzgar) ve uzun dalgalı ısı ışınları yardımıyla (bulut, gökyüzü sıcaklığı) iletilmektedir.

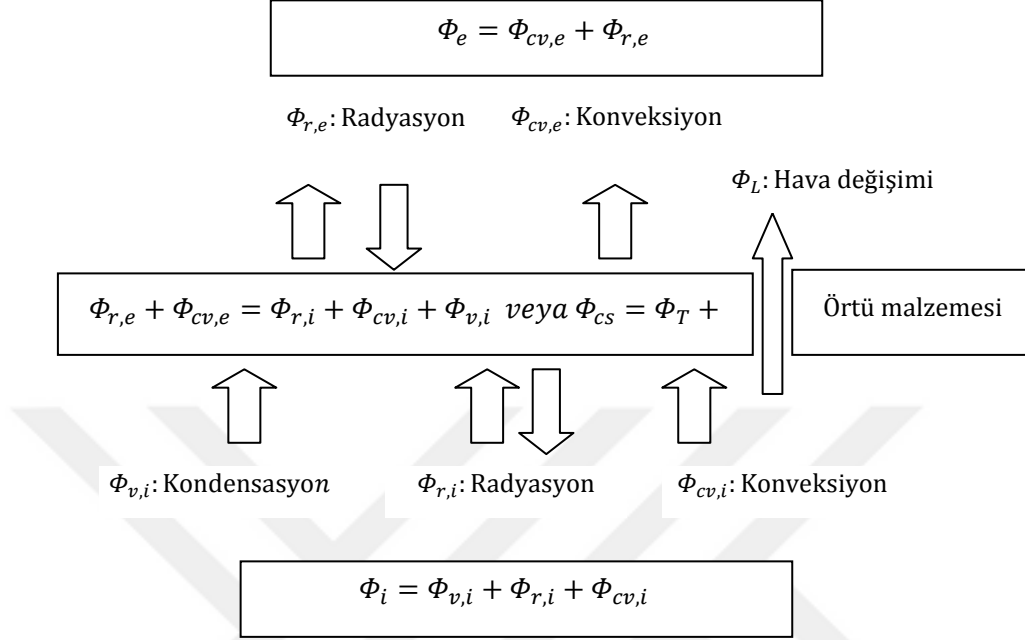


Şekil 2.2. Seralarda Ortaya Çıkan Isı Akıları

Serada ısı enerjisi kayıplarının büyük bölümü örtü malzemesi aracılığı ile ortaya çıkmaktadır. Sera tabanına olan ısı kayıp ve kazançları, hesaplamalarda dikkate alınmamaktadır. Serada ısı enerjisi kazanç ve kayıpları Şekil 2.2'de verilmiştir. Serada ortaya çıkan ısı kayıpları; ışıınım (Radyasyon), taşınım (Konveksiyon), buharlaşma ve transpirasyon, yoğunlaşma (Kondensasyon), hava değişimi şeklinde olmaktadır (Zabeltitz 1986, Baytorun, 2000) .

2.4.1. Sera Örtüsünde Ortaya Çıkan Isı Kayıpları

Seralarda ısı kayıplarının büyük kısmı örtü malzemeleri aracılığı ile ortaya çıkmaktadır. Sera örtü yüzeyinde ortaya çıkan ısı kayıpları Şekil 2.3'de verilmiştir (Meyer, 2008).



Şekil 2.3. Sera Örtü Malzemesinde Ortaya Çıkan Isı Akıları

Şekilden de görüleceği gibi örtü malzemesinden meydana gelen ısı kayıpları transmisyon ve istenmeyen açıklıklardan hava değişimi ile meydana gelen ısı kayıplarının toplamına eşittir.

$$\Phi_{cs} = \Phi_T + \Phi_L \quad (W) \quad [2.9]$$

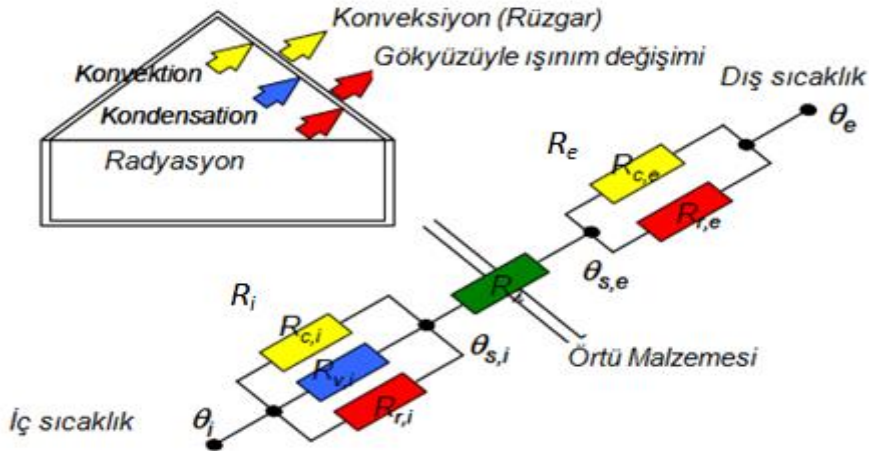
Örtü malzemesinin dış yüzeyinde ortaya çıkan ısı akısı konveksiyon ve radyasyonla ortaya çıkan ısı akılarının toplamına eşittir (Şekil 2.3).

$$\Phi_e = \Phi_{r,e} + \Phi_{cv,e} \quad (W) \quad [2.10]$$

Örtü iç yüzeyinde ortaya çıkan ısı akıları ise kondensasyon (yoğunlaşma) ($\Phi_{v,i}$), radyasyon (ışınım) ($\Phi_{r,i}$) ve konveksiyon (taşınım) ($\Phi_{cv,i}$) ısı akılarının toplamına eşittir (Şekil 2.3).

$$\Phi_i = \Phi_{r,i} + \Phi_{cv,i} + \Phi_{v,i} \quad (W) \quad [2.11]$$

Örtü malzemesinde ortaya çıkan farklı ısı akılarına bağlı olarak örtü malzemesinin kendisinde, iç ve dış yüzeylerde ısı iletim dirençleri ortaya çıkmaktadır. Şekil 2.4’de sera örtü malzemesinde ortaya çıkan ısı akılarına bağlı iletim dirençleri gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Sera Örtü Malzemesinde Ortaya Çıkan İletim Dirençleri

Serada ısı akılarına bağlı olarak ortaya çıkan dirençlerin bilinmesi durumunda transmisyon ısı iletim katsayısının hesaplanması Eşitlik 2.12 yardımı ile olmaktadır.(Tantau, 2008)

$$R_T = R_i + R_\lambda + R_e \quad (m^2K.W^{-1}) \quad [2.12]$$

Eşitlikte;

R_T : Transmisyon ısı iletim direnci ($m^2K.W^{-1}$)

R_i :İç yüzey ısı iletim direnci ($m^2K.W^{-1}$)

R_λ :Örtü malzemesi ısı iletim direnci ($m^2K.W^{-1}$)

R_e : Dış yüzey ısı iletim direnci ($m^2K.W^{-1}$)

R_e değeri DIN EN 12381'de 0,04 ($m^2K.W^{-1}$) olarak verilmiştir. Bu değer ortalama rüzgâr hızının 4 m/s olması durumunda geçerlidir. Yukarıda verilen direnç değerleri dikkate alındığında örtü malzemesinin transmisyon ısı iletim katsayısı Eşitlik 2.13 ile belirlenir.

$$U_T = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_i + R_\lambda + R_e} \quad (W.m^{-2}K^{-1}) \quad [2.13]$$

Örtü malzemesinin iç yüzeydeki ısı iletim direnci (R_i) serada kurulan ısıtma sistemine bağlıdır. R_i DIN 4701 standartlarına göre Çizelge 2.6'da verilmiştir (Zabeltitz, 2000).

Çizelge 2.6. Serada Kullanılan Isıtma Sistemine Bağlı İç Yüzey Isı İletim Direnci

Isıtma Sistemi	R_i ($m^2K.W^{-1}$)
Isıtma boruları çatıda	0,09
Isıtma boruları yan duvarlarda	0,09
Isıtma boruları üretim masalarının altında	0,10
Isıtma boruları taban yüzeyinde	0,12
Üfleyicili ısıtıcılar	0,09
Doğrudan ateşlemeli üfleyiciler	0,10
Konvektörler	0,09
Karışık ısıtma sistemleri (Borulu ve üfleyicili)	0,10

Örtü malzemesinin ısı iletim direnci (R_λ) örtü malzemesinin kalınlığına ve özelliğine bağlıdır. Seralarda kullanılan örtü malzemesinin çok katlı olması durumunda ısı iletim direnci R_λ , katmanları oluşturan malzemenin ısı iletim dirençleri toplamına eşittir. Seralarda kullanılan farklı örtü malzemelerinin DIN 4701 standartlarından alınan ısı iletim dirençleri Çizelge 2.7'de verilmiştir (Tantau, 2013).

Çizelge 2.7. Sera Farklı Örtü Malzemelerinin Isı İletim Dirençleri

Örtü malzemesi	R_{λ} ($m^2K.W^{-1}$)
UV katkılı PE plastik	-0,01
UV Katkılı çift katlı PE	0,14
Tek kati koextüre EVA plastik	0,01
Tek katlı PVC plastik	0,01
Hava kabarcıklı PE plastik	0,03
Tek kat ETFE plastik tek kat	0,02
Tek kat ETFE plastik çift kat	0,18
Tek katlı cam	0,02
Çift katlı cam	0,18
PMMA, 16 mm aralıklı	0,25
PMMA, 32 mm aralıklı	0,47
PVC veya cam lifi ile güçlendirilmiş plakalar	0,00
Polikarbon plakalar, 6 mm aralıklı	0,13
Polikarbon plakalar, 10 mm aralıklı	0,16
ETFE + Cam + ETFE	0,40
Tek kat cam + Gündüz perdesi	0,08
Tek kat cam + Gündüz Perdesi + Isı perdesi	0,22
Tek kat cam + 2 ısı perdesi + karartma perdesi	0,58
Isı cam + Gündüz perdesi	0,08
Isı cam + Gündüz Perdesi + Isı perdesi	0,22
Isı cam + 2 ısı perdesi + karartma perdesi	0,58

Farklı örtü malzemeleri için laboratuvar koşullarında belirlenmiş ısı iletim katsayılarından (U_T) gidilerek sera donanımlarına bağlı Eşitlik 2.14'teki R_{λ} değerleri hesaplanabilmektedir.

$$R_{\lambda} = \left(\frac{1}{U_T} - R_i - R_e \right) \quad (m^2K.W^{-1}) \quad [2.14]$$

Eşitlikte;

R_{λ} : Örtü malzemesinin ısı iletim direnci ($m^2K.W^{-1}$)

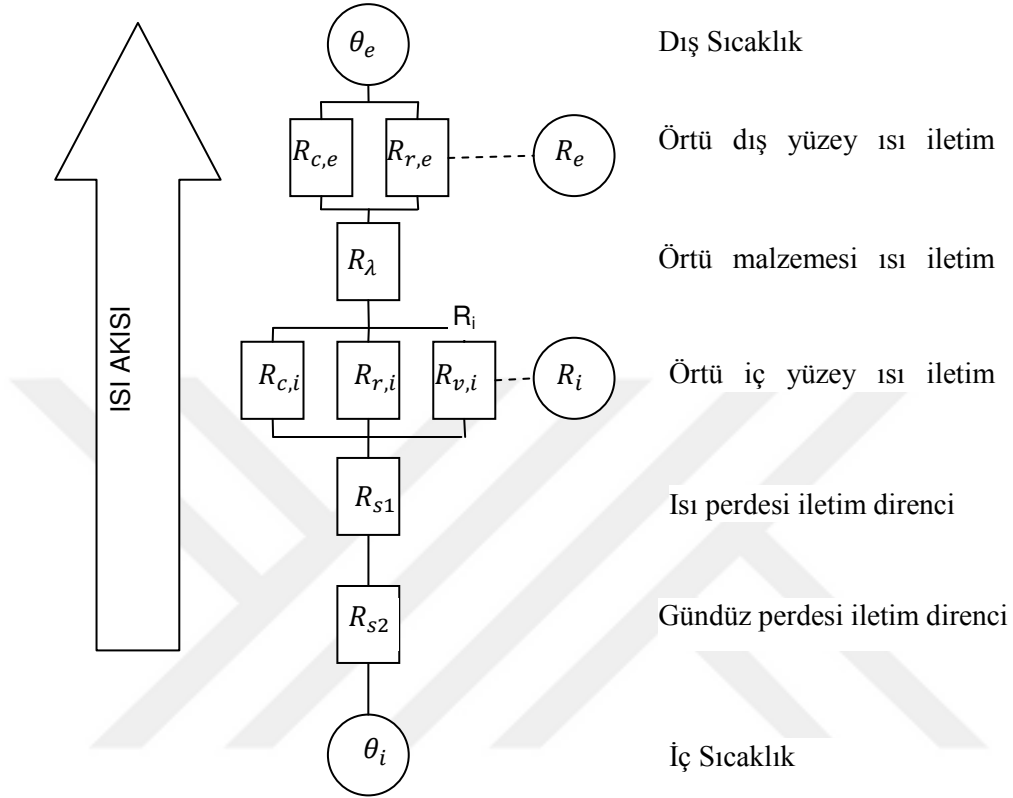
R_i : Örtü malzemesinin iç yüzey ısı iletim direnci ($m^2K.W^{-1}$)

R_e : Örtü malzemesinin dış yüzey ısı iletim direnci ($m^2K.W^{-1}$)

Seralarda ısı korunumu ve karartma amacıyla kullanılan gündüz, enerji ve karartma perdeleri de ısı akısına karşı bir direnç yaratmaktadırlar. Seralarda farklı amaçlar için kullanılan perdelerin ısı akılarına karşı oluşturdukları direnç değerleri Çizelge 2.8’te verilmiştir (Tantau, 2013).

Çizelge 2.8. Serada Isı Korunumu Amacıyla Kullanılan Farklı Perdelerin Isı İletim Dirençleri

Perde	R_λ ($m^2.K.W^{-1}$)
Gündüz Perdesi	0,08
Enerji Perdesi	0,14
Karartma Perdesi	0,36



Şekil 2.5. Serada Kullanılan Farklı Donanımlara Bağlı Olarak Ortaya Çıkan Isı Akı Dirençleri

Serada enerjinin korunumu amacıyla kullanılan farklı perdeler serada ortaya çıkan ısı akısına karşı örtü malzemesi ile birlikte ek bir direnç oluştururlar (Şekil 2.5). Belirtilen nedenle transmisyon ısı iletim katsayısının hesaplanmasında ısı akılarına karşı ortaya çıkan tüm dirençlerin toplamı dikkate alınır (Tantau, 2013).

$$U_T = \frac{1}{R_i + R_\lambda + R_e + R_{s1} + R_{s2}} \quad (\text{W.m}^{-2}\text{K}^{-1}) \quad [2.15]$$

Şekil 2.5'te de görüleceği gibi örtü malzemesinden transmisyonla ortaya çıkan ısı akıları yanında örtü yüzeyindeki istenmeyen açıklıklardan da ısı akısı

ortaya çıkmaktadır. DIN 4701 standartlarına göre istenmeyen açıklıklardan ortaya çıkan hava değişimine bağlı ısı iletim dirençleri Çizelge 2.9’da verilmiştir.

Çizelge 2.9. Hava Değişimine Bağlı Isı İletim Direnci

Örtü Malzemesi	R_L ($m^2K.W^{-1}$)
Profil içine sürülmüş camlar	0,5
Macunlu camlar	1,0
Plastik seralar	2,0
Macunsuz plastik kuşaklarla sıkıştırılmış camlar	1,0

Farklı örtü malzemesi, ısıtma sistemleri ve iklim koşulları için ölçümler sonucu bulunmuş ısı tüketim katsayıları (U_{cs}), malzemenin transmisyon ısı iletim katsayısı (U_T) ve istenmeyen açıklıklardan meydana gelen hava değişim ısı iletim katsayısının (U_L) toplamına eşittir.

$$U_{cs} = U_T + U_L \quad (W.m^{-2}K^{-1}) \quad [2.16]$$

$$U_T = \frac{1}{R_T} \text{ ve } U_L = \frac{1}{R_L} \quad (W.m^{-2}K^{-1}) \quad [2.17]$$

Seralarda ısı gücü gereksiniminin belirlenmesinde, örtü malzemesinden transmisyonla ve örtü yüzeyindeki istenmeyen açıklıklardan hava değişimi (infiltrasyon) ile ortaya çıkan ısı kayıpları dikkate alınmaktadır. Transmisyonla ortaya çıkan ısı akısı örtü malzemesinde, örtü malzemesinin dış ve iç yüzeyinde meydana gelen tüm ısı akılarını kapsamaktadır. Transmisyonla ortaya çıkan ısı akısı Eşitlik 2.18 yardımı ile belirlenmektedir.

$$\Phi_T = \frac{1}{R_T} * A_s * (\theta_i - \theta_e) \quad (W) \quad [2.18]$$

Örtü malzemesi yüzeyinde bulunan istenmeyen açıklıklardan hava değişimi ile ortaya çıkan ısı kayıpları ise, Eşitlik 2.19 belirlenmektedir.

$$\Phi_L = \frac{1}{R_L} * A_s * (\theta_i - \theta_e) \quad (W) \quad [2.19]$$

Hava değişimi ile kaybolan ısı enerjisi hava değişim katsayısından da gidilerek Eşitlik 2.20 veya Eşitlik 2.21 ile de hesaplanabilmektedir.

$$\Phi_L = Z * V_G * \rho_a * (c_{pa} * (\theta_i - \theta_e) + r_0(x_i - x_e)) \quad (W) \quad [2.20]$$

veya,

$$\Phi_L = Z * V_G * \rho_a * (h_i - h_a) \quad (W) \quad [2.21]$$

Transmisyon ve hava değişimi ısı akısının toplamı, seradan ortaya çıkan toplam ısı kayıplarını vermektedir.

$$\Phi_{cs} = \Phi_T + \Phi_L \quad (W) \quad [2.22]$$

Eşitliklerde;

Φ_{cs} =Toplam ısı gereksinimi [W]

Φ_T =Transmisyon ısı kayıpları [W]

Φ_L =Havalandırma ısı kayıpları [W]

R_T =Transmisyon ısı iletim direnci [$m^2.K.W^{-1}$]

R_L =Hava değişimine bağlı ısı iletim direnci [$m^2.K.W^{-1}$]

A_s =Yüzey alanı [m^2]

θ_i =Serada arzulan sıcaklık değeri [$^{\circ}C$]

θ_e =Dış sıcaklık değeri [$^{\circ}C$]

h_i :Sera havasının entalpi değeri ($kJ kg^{-1}$)

h_a :Dış havanın entalpi değeri ($kJ kg^{-1}$)

Transmisyon ısı iletim direnci R_T örtü malzemesinin direnci (R_λ), dış yüzey direnci (R_e) ve örtü iç yüzeyi dirençlerinin (R_i) toplamına eşittir.

2.5. Serada Isı İletimlerine Etki Eden Etmenler

Isı gereksinim katsayısı (U_{cs}) daha öncede ifade edildiği gibi transmisyon ısı iletim katsayısı (U_T) ve hava değişimine bağlı ısı iletim katsayısının (U_L) toplamına eşittir. Hava değişimi ile ortaya çıkan ısı iletim katsayısı seranın yalıtkanlığına ve yıpranmasına bağlı olarak değişmektedir. Yalıtımı iyi olan çift katlı örtü ile kaplanmış seralarda U_L değeri ihmal edilebilecek değerde küçüktür (Tantau, 2013). Ancak tek kat örtü malzemesi ile kaplı seralarda U_L değeri U_{cs} değerinin yaklaşık % 10-30'u arasında değişmektedir. Sera sızdırmazlığı ısı kaybı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Zabeltitz, 2011).

Seralarda (U_{cs}) değeri; Örtü malzemesinin tipi ve durumuna (ıslak veya kuru), örtü iç ve dış yüzeyindeki konvektif ısı değişim mekanizmasına, termal radyasyon (uzun dalga) değişimine (gökyüzünün açık olması), örtü malzemesinin sızdırmazlığına, örtü malzemesi yüzey alanına, sera tipi (yapı ve geometri) ve zemin alanına, rüzgar hızına, ısı perdesi olup olmadığına, bağlıdır (Zabeltitz, 2011).

Örtü malzemesinin transmisyon ısı iletim katsayısı (U_T) yukarıdaki faktörlerden ilk üçüne bağlıdır (Papadakis ve ark., 2000). Isı gereksinim katsayısı (U_{cs}) üzerinde ana belirleyici faktörler, ısıtma sistemi ve enerji tasarrufu için kullanılan ısı perdesi de dâhil sera örtü malzemesidir (Zabeltitz, 2011).

2.5.1. Örtü İç Yüzeyi Isı İletimi

Seralarda kullanılan örtü malzemelerinin ısı iletim katsayısı (U_T) genelde laboratuvar koşullarındaki kuru malzemenin 4 m/s rüzgar hızı için belirlenmektedir. Elde edilen bu değerler koşullu olarak kullanılmaktadır. Bitkisel üretimin yapıldığı

serada örtü malzemesinin iç yüzeyinde konvektif ($h_{i,cv}$) ve ışınsal ($h_{i,r}$) ısı akılarına ek olarak örtü malzemesindeki yoğunlaşmaya (kondensasyon) ($h_{i,cd}$) bağlı olarak gizli ısı akısı da ortaya çıkmaktadır (Şekil 2.3). Sera örtüsü iç yüzeyinde ortaya çıkan ısı iletimleri Eşitlik 2.23’de verilmiştir (Tantau 2013).

$$h_i = \frac{1}{R_i} = h_{i,cv} + h_{i,r} + h_{i,cd} \quad (\text{W.m}^{-2}\text{K}^{-1}) \quad [2.23]$$

Eşitlikte;

h_i : Örtü iç yüzey ısı iletimi ($\text{W.m}^{-2}\text{K}^{-1}$)

$h_{i,cv}$: Örtü iç yüzeyindeki konvektif ısı iletimi ($\text{W.m}^{-2}\text{K}^{-1}$)

$h_{i,r}$: Örtü iç yüzeyindeki ışınsal (radyasyon) ısı iletimi ($\text{W.m}^{-2}\text{K}^{-1}$)

$h_{i,cd}$: Örtü iç yüzeyindeki kondensasyon ısı iletimi ($\text{W.m}^{-2}\text{K}^{-1}$)

Seralarda kurulan ısıtma sistemleri ısı gereksinim katsayısına etki ederler. Tantau (1983) tarafından yapılan araştırmalar sonucunda tek katlı camla örtülmüş serada 4 m/s ortalama rüzgâr hızında farklı ısıtma sistemleri için belirlenen ısı gereksinim katsayıları (U_{cs}) Çizelge 2.10’da verilmiştir. Çizelgeden de görüleceği gibi ısıtma sistemlerinin sera tabanına yakın yerleştirilmesi durumunda toplam ısı gereksinim katsayısı küçülmektedir. Hava üfleli ısıtma sistemlerinde toplam ısı gereksinim katsayısının küçültülmesi için vantilatörlerin 2. kademedeki çalıştırılması uygundur.

Çizelge 2.10. Serada Kullanılan Farklı Isıtma Sistemlerine Bağlı Isı Tüketim Katsayıları

Isıtma Sistemi	U_{cs} $W m^{-2} K^{-1}$	Oransal Farklılık %
Yükseğe yerleştirilmiş borulu ısıtma sistemi	8,2	100
Masa altı borulu ısıtma sistemi	7,4	90
Yan duvar borulu ısıtma sistemi	8,1	99
Tabana yakın borulu ısıtma sistemi	6,7	82
Hava üfleli ısıtma 1. Kademe	9,9	121
Hava üfleli ısıtma 2. Kademe	7,1	87
Hava üfleli ısıtma 3. Kademe	8,0	97
Konvektörlerle ısıtma	7,8	95
Hava üfleli sistem (Plastik tüplü)	7,0	85

2.5.2. Örtü Dış Yüzeyi Isı İletimi

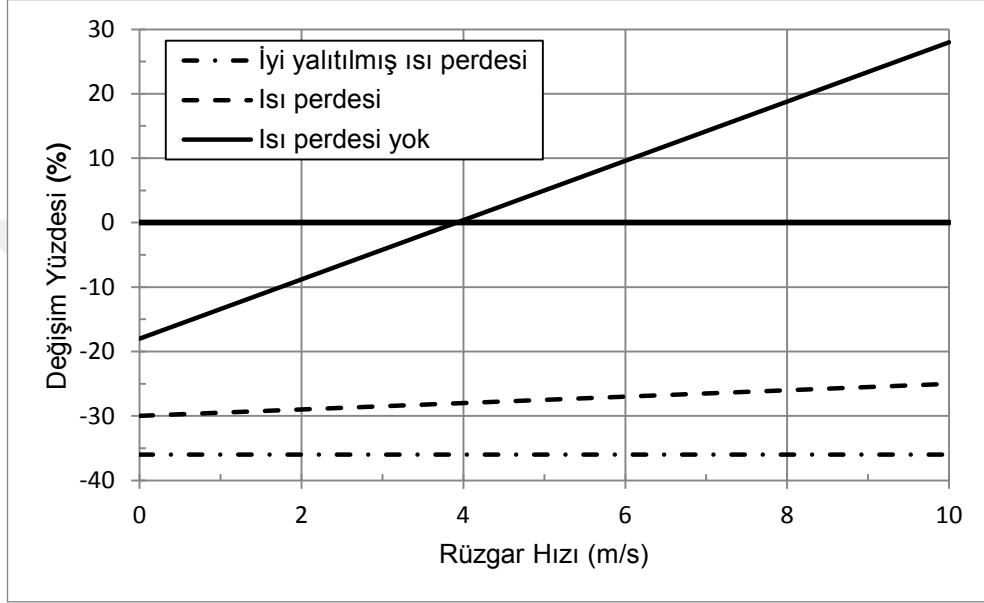
Örtü dış yüzeyinde ortaya çıkan ısı iletimi rüzgar hızı ve gökyüzü koşullarının bir fonksiyonudur (Tantau, 2008).

$$h_e = \frac{1}{R_e} = f(v_w, \theta_{sk}) \quad [2.24]$$

Seranın iyi yalıtılmış olması durumunda gökyüzünün açık olduğu günlerde örtü dış yüzeyinden ışınlam ile ortaya çıkan ısı iletimi, örtü malzemesi aracılığıyla içeriden dışarıya iletilen ısı miktarından fazla olabilmektedir. Böyle durumlarda örtü malzemesinin dış yüzey sıcaklığı hava sıcaklığının altına düşmektedir. Bu durumda örtü malzemesi konvektif olarak dış havadan ısı almakta ve örtü malzemesinin dış yüzeyinde su buharı yoğunlaşmakta ve hafif buzlanma görülmektedir (Tantau, 2013).

Rüzgarın ısı gereksinim katsayısına (U_{cs}) etkisi Şekil 2.6'de verilmiştir. (Tantau, 2008). Rüzgâr, örtü yüzeyinden oluşan ısı kayıplarının artmasına neden olmaktadır. Şekil 2.6'dan görüleceği gibi ısı perdesinin kullanılmadığı tek kat camla örtülmüş serada ısı gereksinim katsayısı ile rüzgar hızı arasında artan

doğrusal bir ilişki bulunmaktadır. Rüzgâr hızı iyi yalıtılmamış seralarda ısı kayıpları üzerinde önemli etkiye sahiptir. Literatürde ısı gereksinim katsayısı 4 m/s rüzgâr hızı için verilmektedir.



Şekil 2.6. Isı Enerjisi Gereksiniminin Rüzgâr Hızına Bağlı Oransal Değişimi

İyi yalıtılmış serada ısı gereksinim katsayısı (U_{cs}) hemen hemen rüzgar hızına bağımlı değildir. Rüzgarın ısı gereksinim katsayısına etkisi aşağıdaki genel Eşitlik 2.25 ile ifade edilmektedir (Tantau, 2008).

$$U_{cs} = U_T + v_w * b \quad [2.25]$$

Eşitlikte;

U_{cs} : Isı gereksinim katsayısı ($W.m^{-2}K^{-1}$)

U_T : Transmisyon ısı iletim katsayısı (Y eksenini kesim noktası) ($W.m^{-2}K^{-1}$)

v_w : Rüzgar hızı (m/s)

b : Doğru eğimi ($J.m^{-3}K^{-1}$)

Uygulamada yapılmış araştırmalar sonucunda seralarda ısı gereksinim katsayısı ve rüzgar hızı arasında

Tek katlı cam sera $U_{cs} = 0,35 * v_w + 6,16$

Çift katlı cam sera $U_{cs} = 0,30 * v_w + 3,7$ eşitlikleri elde edilmiştir (Zabeltitz 1986).

Yanzheng ve ark. (2008), laboratuvar ortamında geliştirdikleri bir düzenekle sera örtü malzemelerinin ısı iletim katsayısını belirlemişlerdir. Bu düzenek, hava geçirmez yalıtımlı bir malzemedan oluşan ve arası sera örtü malzemesi ile bölünmüş bir kutudan oluşturulmuştur. Sera örtü malzemesinin ikiye böldüğü bu kutunun bir bölmesine 55 W güce sahip ısıtıcı bobin, diğer bölmesine ise soğutucu ve hava akımı sağlayacak küçük pervaneler yerleştirilmiştir. Bölmelerden birinin dış ortamı diğerinin ise sera içini temsil ettiği bu sistemde, hava akım hızı, sıcak bölme ve soğuk bölme sıcaklıkları ölçülerek kaydedilmiştir. Bu yöntemle yapılan ölçümlerde 5 mm kalınlığında düz cam için ortalama ısı iletim katsayısını 3 m/s rüzgâr hızında $7,59 W.m^{-2}K^{-1}$ olarak bulmuşlardır.

Geoola ve ark., (2009) laboratuvar ortamında PE örtü malzemesinin ısı perdeli ve ısı perdesiz olarak, rüzgâr hızı ve sıcaklık farkının bir fonksiyonu olarak toplam ısı iletim katsayısını belirlemek için yaptıkları denemelerde, genel olarak ısı geçirgenlik katsayısının sıcaklık farkı artışı ile arttığını belirlemişlerdir. Belirli bir sıcaklık farkı için, rüzgâr hızı arttıkça U_{cs} değeri artmıştır. Aynı araştırmacılar ısı perdeleri kullanılarak U_{cs} değerinin yaklaşık % 30 azalacağını dolayısı ile yaklaşık % 30 enerji tasarrufu sağlanabileceğini bulmuşlardır.

Öztürk (2003), kuzey-güney doğrultusunda kurulmuş, UV+IR katkılı PE plastik ile örtülü ısı perdesiz (U), PE ısı perdeli (U_{PE}) ve polyester ısı perdeli (U_{Poly}) yüksek tip tünel seralarda, ısı iletim katsayılarını rüzgâr hızına bağlı olarak

$$U = 0,11 * v_w + 3,55$$

$$U_{PE} = 0,10 * v_w + 2,83$$

$$U_{Poly} = 0,18 * v_w + 2,63 \text{ Şeklinde belirlenmiştir.}$$

Damrath (1983), yaptığı çalışmada toplam ısı gereksinim katsayısı ile rüzgâr hızı arasındaki ilişkiyi incelemiş ve tek kat saydam örtülü bir serada, toplam ısı gereksinim katsayısı ile rüzgâr hızı (v_w) arasında aşağıdaki ilişkiyi bulmuştur.

$$U = 0,16 * v_w + 3,97$$

Bot ve ark., (2005), seralarda yalıtımın artırılması ile ısı tüketiminin azaltılabileceğini bildirmişler ve laboratuvar koşullarında farklı örtü malzemelerinin 4 m/s rüzgâr hızındaki ısı iletim katsayısı değerlerini Çizelge 2.11'deki gibi vermişlerdir

Çizelge 2.11. Farklı Örtü Malzemelerinin Isı İletim Katsayıları

Örtü Malzemesi	$U (W.m^{-2}K^{-1})$
Tek kat	5.7
Çift kat	3.0
Çift kat (düşük termal infra-red)	1.6
Üç kat	2.3
Üç kat (düşük ϵ)	1.0

Zabeltitz (2000) eserinde farklı araştırmacılar tarafından seralarda kullanılan farklı örtü malzemelerinin 4 m/s rüzgâr hızındaki ısı tüketim katsayılarını derleyerek Çizelge 2.12'de vermiştir.

Çizelge 2.12. Farklı Örtü Malzemelerinin Ortalama Isı Gereksinim Katsayıları

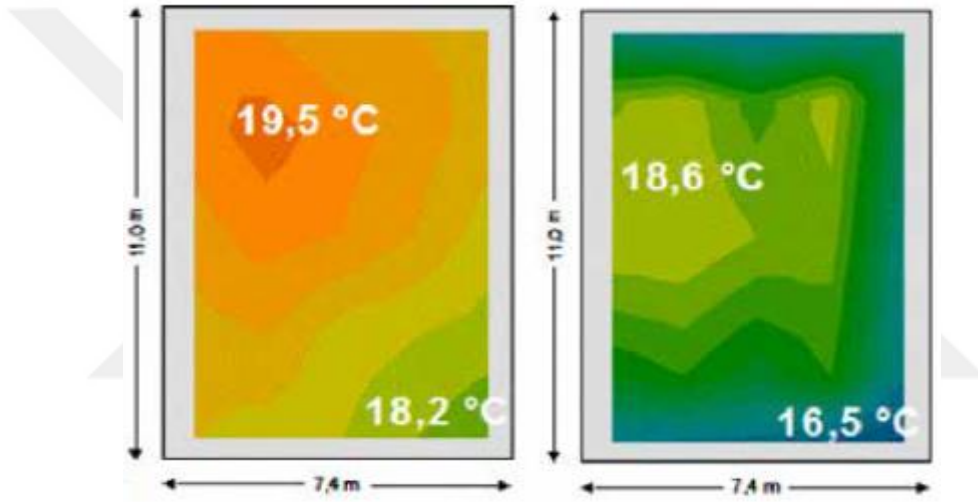
Malzeme	U (W.m ⁻² K ⁻¹)
Tek kat cam	6,0-8,8
Çift kat cam	4,2-5,2
Akril çift katlı sert plastik(PMMA)	4,2-5,0
Üç katlı sert plastik (PMMA)	3,0-3,5
Polikarbon (PC) 10 mm	4,7-4,8
Polikarbon (PC) 16 mm	4,2-5,0
Tek katlı plastik	6,0-8,0
Çift katlı plastik	4,2-6,0
PE plastik serada plastik altına ikinci kat	
PE sızdırmaz	6,4
Gölgeleme malzemesi	7,4
PCV sızdırmaz	4,7
EVA	5,1
Hava tabakası	4,9
Isı perdesi	
Plastik ve akril doku	4,1-4,8
Çift kat plastik. Çift kat doku. Kabarcıklı plastik	3,4-3,9
Alüminyumlu hava kabarcıklı plastik	3,2
Tek katlı alüminyumlu malzeme	3,4-3,9

Weimann (1984) tek katlı PE plastikle örtülmüş serada, üfleli plastik tüplerin bitki sıra aralarına yerleştirilmesi durumunda, 4 m/s rüzgâr hızında ısı gereksinim katsayısını 6.6 W.m⁻²K⁻¹ bulmuştur.

2.5.3. Sıcaklık Ölçüm Yeri, Yüksekliği ve Sayısı

Isı gereksinim katsayısının (U_{cs}) belirlenmesinde sera içi sıcaklığı büyük önem taşımaktadır. Serada düşey ve yatay eksen yönünde sıcaklık farklılıkları ortaya çıktığından serada yapılacak ölçümlerin sera sıcaklığını temsil etmesi

gereklidir. Bunun için serada sıcaklık ölçümlerinin yapılacağı yer iyi seçilmelidir. Aynı zamanda seranın büyüklüğüne bağlı olarak ölçüm noktası sayısının da belirlenmesi önem taşımaktadır. Şekil 2.7’de serada yatay eksen boyunca ölçülmüş hava ve yaprak sıcaklık değerleri verilmiştir (Rath 2002). Yaprak sıcaklığı bitki gelişimine hava sıcaklığından daha fazla etki etmektedir. Belirtilen nedenle U_{cs} ’nin hesaplanmasında hava sıcaklığının bitki sıra aralarında yerden 1 m yüksekte ölçülmesi önerilmektedir (Tantau, 2008).



Şekil 2.7. Isıtılan Serada Yatay Eksende Hava ve Yaprak Sıcaklıkları

2.5.4. Isı Depolamanın Etkisi

Seraya gün boyu ulaşan güneş ışınımının serada depolanması, ısı gereksinim katsayısının (U_{cs}) hesaplanmasına etki etmektedir. Sera içindeki gece ve gündüz sıcaklık ortalamaları ile sera toprağının ısıyı depolama özelliği önem arz etmektedir. Rath (1994) yaptığı çalışmada ısıtılmayan serada depolanan ısı enerjisinin sera sıcaklığına etkisini Eşitlik 2.26'daki ampirik ilişki ile ifade etmiştir.

$$\Delta\theta = \frac{1}{20} * s * a \quad [2.26]$$

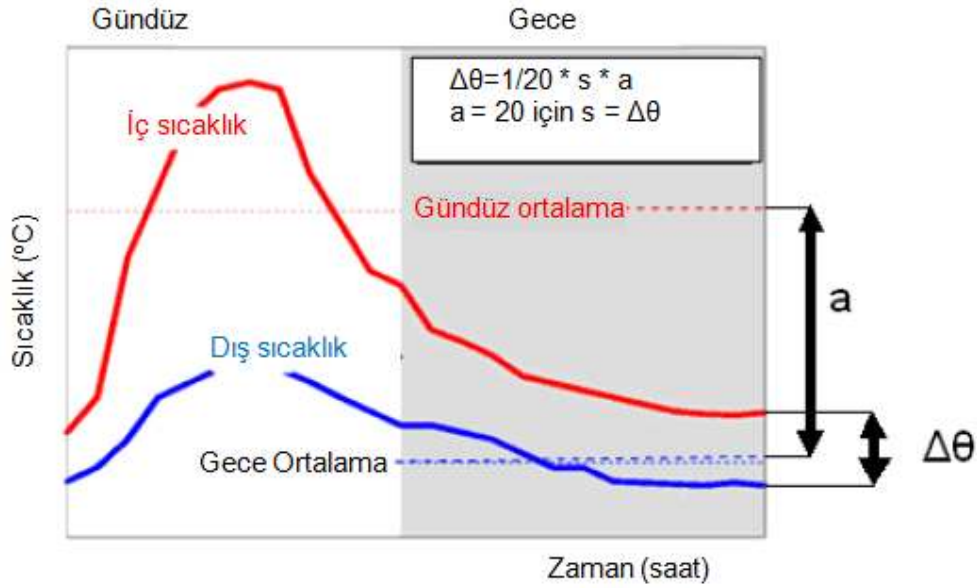
Eşitlikte;

s :Seraya özgü katsayı (2-10 K aralığında)

a :Gece gündüz sıcaklık ortalamaları arasındaki fark (K)

Eşitlik 2.26'dan görüleceği gibi seranın yalıtımı iyi olduğunda s katsayısı büyümekte ve buna bağlı olarak seranın ısı depolamasına bağlı olarak ortaya çıkan sıcaklık farkı büyümektedir. Eşitlik 2.26 'da verilen ilişki seraya özgüdür.

Şekil 2.8'de ısıtılmayan serada gün boyu güneşten seraya ulaşan ve serada depolanan ısı enerjisinin gece saatlerinde serada neden olduğu sıcaklık yükselmesi, bir önceki günün gündüz saatlerindeki sıcaklık ortalamaları ile takip eden gecenin dış sıcaklık ortalamaları arasındaki farka bağlıdır (Rath, 1994).



Şekil 2.8. Isıtılmayan Serada Gün Boyu Depolanan Isı Enerjisinin Gece Sıcaklık Değerlerine Etkisi

2.5.5. Örtü Yüzeyindeki Açıklıklar

Sera konstrüksiyonunda bulunan açıklıklardan meydana gelen kontrolsüz hava değişimi serada meydana gelen ısı kaybını büyük ölçüde etkilemektedir. Seralardaki açıklıklardan meydana gelen kontrolsüz hava değişimin belirlenmesi, enerji dengesi yönteminden gidilerek yapılan sıcaklık ve nem ölçümleri ile de belirlenebilmektedir (Zabeltitz, 1986).

Isı gereksinim katsayısı (U_{cs}) transmisyon ve hava değişimine bağlı olarak ortaya çıkan kayıpları temsil eden bir katsayı olarak tanımlanmaktadır. U_L katsayısı seranın sızdırmazlığını tanımlar (Zabeltitz, 1986).

U_L katsayısı sera örtü yüzeyindeki istenmeyen açıklık sayısı ve büyüklüğüne bağlı olduğundan belirlenmesi oldukça güçtür. Ayrıca rüzgarın emme veya basma yüzeyinde bulunan havalandırma açıklıklarından oluşan sızmaların da belirlenmesi oldukça zordur. Kapalı seralarda istenmeyen açıklıklardan infiltrasyonla ortaya çıkan hava değişimi en iyi indikatör gaz yöntemiyle belirlenebilmektedir. Ancak büyük alanlara sahip seralarda kullanılan indikatör gazı (CO_2 , NO_2) miktarının fazla olması araştırma maliyetini yükselttiğinden bu yöntemin kullanılmasını kısıtlamaktadır.

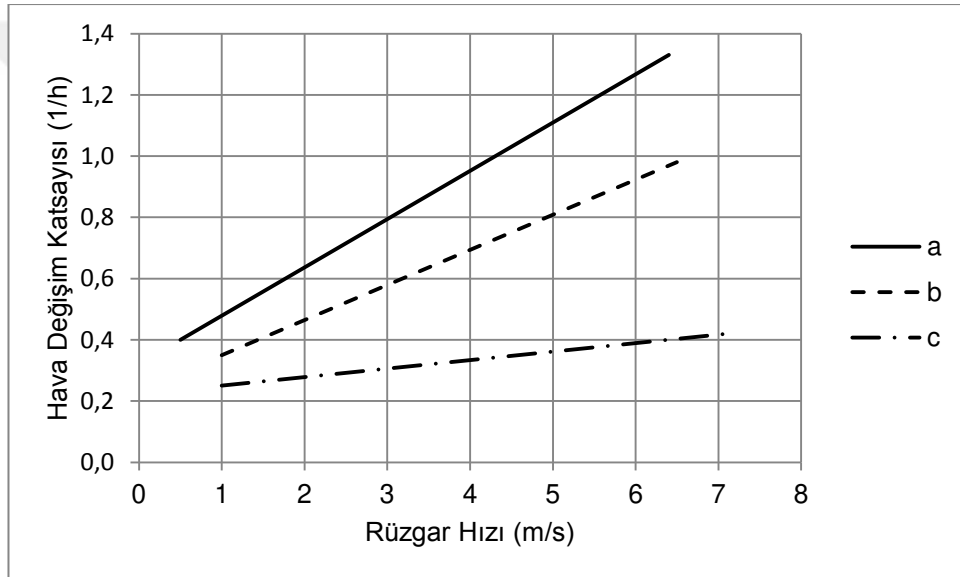
Sera yüzeyinde bulunan istenmeyen açıklıklardan meydana gelen ısı kayıplarına bağlı olarak U_L katsayısının hesaplanması Eşitlik 2.27 yardımı ile yapılabilmektedir.

$$U_L = \frac{\Phi_L}{A_s * (\theta_i - \theta_e)} \quad (W.m^{-2}K^{-1}) \quad [2.27]$$

Hava değişim sayısı, sera konstrüksiyonu ve rüzgar hızına bağlıdır. Tantau (1977) seralarda ısı gereksiniminin hesaplanmasında gerekli olan Z katsayısını. $Z = 0,25 * v_w$ ilişkisinden yararlanarak belirlemiştir

Rüther (1985) sera konstrüksiyonundaki açıklıklardan meydana gelen kontrolsüz hava değişimini indikatör gaz yöntemi ile belirlemiştir (Şekil 2.9).

a) Çatı ve yan duvar havalandırmalı çift katlı camla örtülü tek sera , b) Yan duvar ve ön cephesi plastik ile izole edilmiş sera , c) Çatısında havalandırma kapakları bulunan çift katlı acryl ile kaplı tek serayı ifade etmektedir. Çatısında ve yan duvarlarında havalandırma kapakları bulunan ve yoğunlaşan suyun dışarı akmasını sağlayan deliklerin bulunduğu serada (a) ve aynı serada yan duvar ve ön cephenin plastikle kaplı olduğu durumda (b) ölçüm yaparak, hava değişiminin % 28 oranında azaltılabileceğini bulmuştur.



Şekil 2.9. Kapalı Seralarda İstenmeyen Açıklıklardan Meydana Gelen Hava Değişim Sayısı

Yeni inşa edilmiş, çift katlı akril plastikle kaplı serada istenmeyen açıklıklardan meydana gelen hava değişim sayısı diğer seralara oranla daha düşük bir değerde olmaktadır. USA'da (ASAE, 1981) yapılacak hesaplamalarda aşağıdaki hava değişim sayılarının alınması tavsiye edilmektedir.

Yeni inşa edilmiş cam sera	Z = 0,75-1,5
Çift katlı plastik sera	Z = 0,5-1.0
Eski cam sera	Z = 1-2

2.5.6. Hava Neminin Etkisi

Yapılarda ortaya çıkan ısı kayıplarının belirlenmesinde iç ve dış sıcaklık farkına bağlı olarak ortaya çıkan ısı kayıpları esas alınır. Seralarda duyulur ısıya bağlı ısı kayıpları yanında havadaki su buharı kayıplarıyla bağlı olarak ısı kayıpları ortaya çıkmaktadır. Havada gizli olarak bulunan bu ısı yaprak yüzeylerinden, ıslak yüzeylerden suyun buharlaşması sonucu ortaya çıkmaktadır. Açık su yüzeylerinden bir kg suyun buharlaşması sonucunda 2500 kJ'lük ısı enerjisi gizli ısı olarak havada tutulur. Yoğunluğu düşük olan nemli hava yükselerek örtü yüzeyindeki istenmeyen açıklıklardan dışarı taşınarak ısı kayıpları ortaya çıkmaktadır. Yalıtımı iyi olan seralarda ise ortaya çıkan buharlaşma nedeniyle hava nemi çatı bölgesinde birikmekte örtü malzemesi sıcaklığının çığ noktasına ulaşması durumunda yoğunlaşan su buharındaki latent ısının duyulur ısıya dönüşmesi sonucunda örtü malzemesi tarafından transmisyonla dışarı taşınmaktadır (Schmidt, 2008).

Latent ısı seralarda kayıp ısı olarak kabul edilmektedir. Seralarda ısı gücü gereksinimi hesaplamalarında Eşitlik 2.28'de verildiği gibi iç ve dış sıcaklık farkı esas alınmaktadır.

$$\Phi = \frac{1}{R_{cs}} * A_H * (\theta_i - \theta_e) - A_G * q_{r,e} * \tau * \eta \quad [2.28]$$

Serada ihtiyaç duyulan ısı gücü gün boyu seraya ulaşan güneş radyasyonunun duyulur ısıya dönüşüm faktörüne bağlı olarak azalmaktadır. Isı gereksinim katsayısının $(U_{cs} = \frac{1}{R_{cs}})$ belirlenmesinde seranın tüm yapısal özellikleri ve donanımları dikkate alınması yanında dış iklim etmenlerinden rüzgar hızının etkisi amprik ilişkilerle dikkate alınmaktadır. Ancak günümüze kadar örtü iç

yüzeyinden ortaya çıkan gizli ısı transferi dikkate alınmamaktadır. Oysa havada bulunan gizli ısı önemli miktarda ısı enerjisinin bünyesinde bulundurmaktadır. Nemli havanın bünyesinde bulunan ısı enerjisi (entalpi) Eşitlik 2.29 yardımı ile belirlenmektedir.

$$h = c_{pL} * \theta_L + x * (c_{pD} * \theta_L + r_0) \quad [2.29]$$

Eşitlikte;

h :Nemli havanın özgül entalpi değeri (kJ kg^{-1})

c_{pL} :Kuru havanın özgül ısı değeri ($\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$)

θ_L :Havanın sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)

c_{pD} :Su buharının özgül ısı değeri ($\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$)

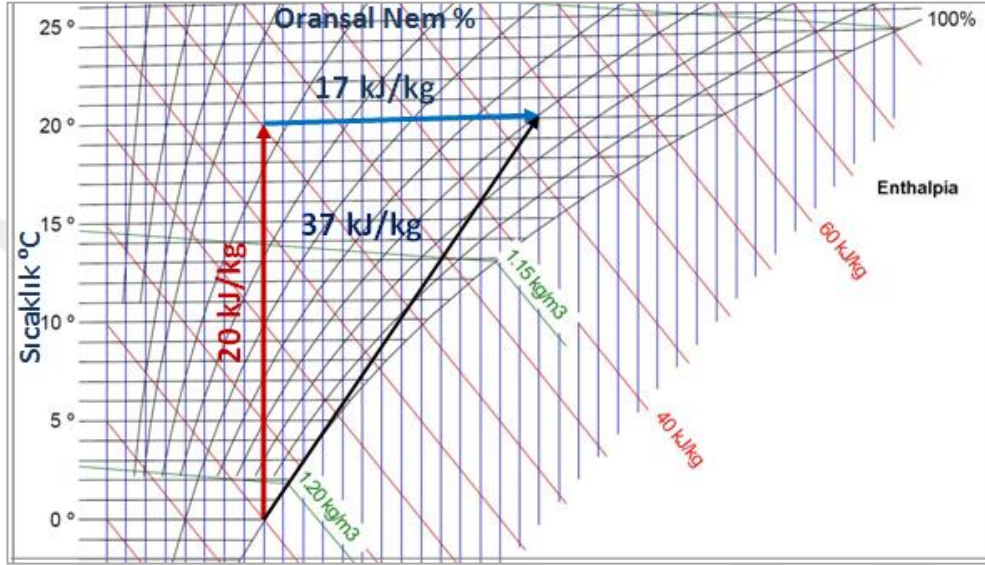
r_0 :Özgül buharlaşma entalpi değeri (J kg^{-1})

x :Havanın nem içeriği (kg kg^{-1})

Havadaki latent ısının toplam ısı enerjisine oranı havanın su içeriğine bağlı olarak bünyesinde tuttuğu enerjiye bağlıdır. Psikrometrik (h - x diyagramı) diyagramdan yararlanarak havadaki latent ısının daha anlaşılır bir şekilde ifadesi mümkündür.

Serada sıcaklığın yükselmesine bağlı olarak buhar basıncı açığı da artmaktadır. Bunun sonucunda bitkilerde transpirasyon artmakta ve havadaki duyulur ısının önemli bir kısmı su buharına bağlanmaktadır (Latent ısı). Seraya ulaşan güneş radyasyonunun duyulur ısıya dönüşüm faktörünün $\eta=0,5$ olması, ısı gereksinimi hesaplamalarında gizli ısının dikkate alınmaması anlamına gelmektedir. Şekil 2.10' da görüldüğü gibi içinde bitkisel üretimin yapılmadığı serada sıcaklığın 0°C 'den 20°C 'ye yükseltilmesi için gerekli olan ısı enerjisi 20 kJ kg^{-1} 'dir. Serada yüksek yaprak/alan indeksine sahip bitkinin yetiştirildiği koşullarda gece saatlerinde serada % 70 nemin bulunması durumunda ihtiyaç

duyulan ısı enerjisi 35 kJ kg^{-1} olmaktadır. Bu durum sera havasında bulunan latent ısıнын ihmal edilmeyecek derecede önemli olduğunu göstermektedir (Schmidt, 2008)

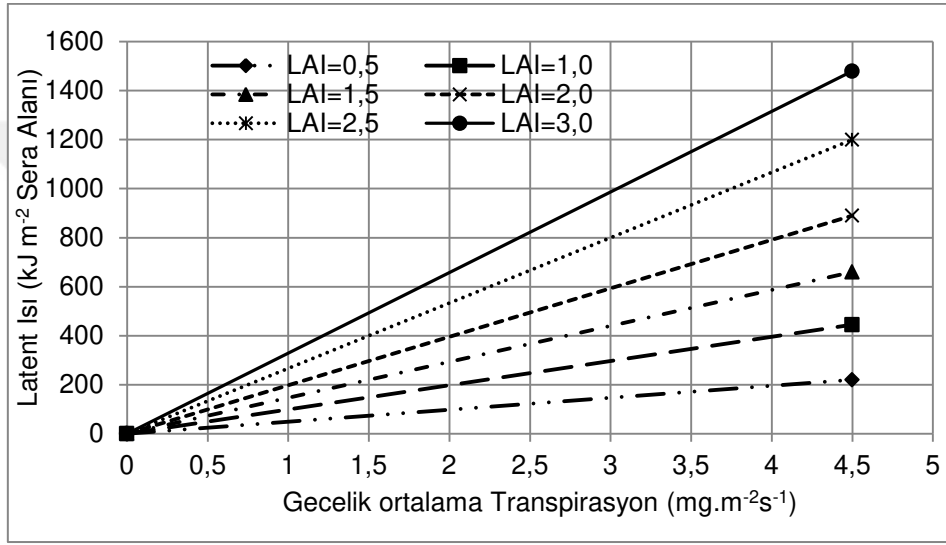


Şekil 2.10. Serada Havanın Isıtılmasına Bağlı Olarak Havanın Fiziksel Özelliklerinde Meydana Gelen Değişimler

Serada arzu edilen sıcaklık farkına bağlı olarak gereksinilen ısı gücü duyulur ve gizli ısı kaybına göre belirlenmelidir. Seranın kötü yalıtıma sahip olması durumunda serada entalpi farkının sabit tutulabilmesi için birim zamanda daha fazla ısı enerjisini seraya gönderilmesi gereklidir. Sıcaklık farkına bağlı olarak seraya gönderilecek ısı gücü teknik olarak belirlenebilmektedir. Ancak serada gizli ısıнын denetimi mümkün değildir. Gizli ısıya fiziksel kuvvetler yanında buharlaşmaya neden olan yüzeyin büyüklüğü etki etmektedir (Schmidt, 2008)

Türkiye’de seralarda en fazla domates bitkisi yetiştirilmektedir. Schmidt (2008) yaptığı araştırmalarda domates bitkisinin gece saatlerindeki transpirasyon değerlerini yaptığı ölçümlerle belirlemiştir. Yapılar çalışmada gece saatlerinde ortaya çıkan transpirasyon miktarını $2\text{-}3 \text{ mg m}^{-2}$ yaprak alanı s^{-1} olarak bulmuştur.

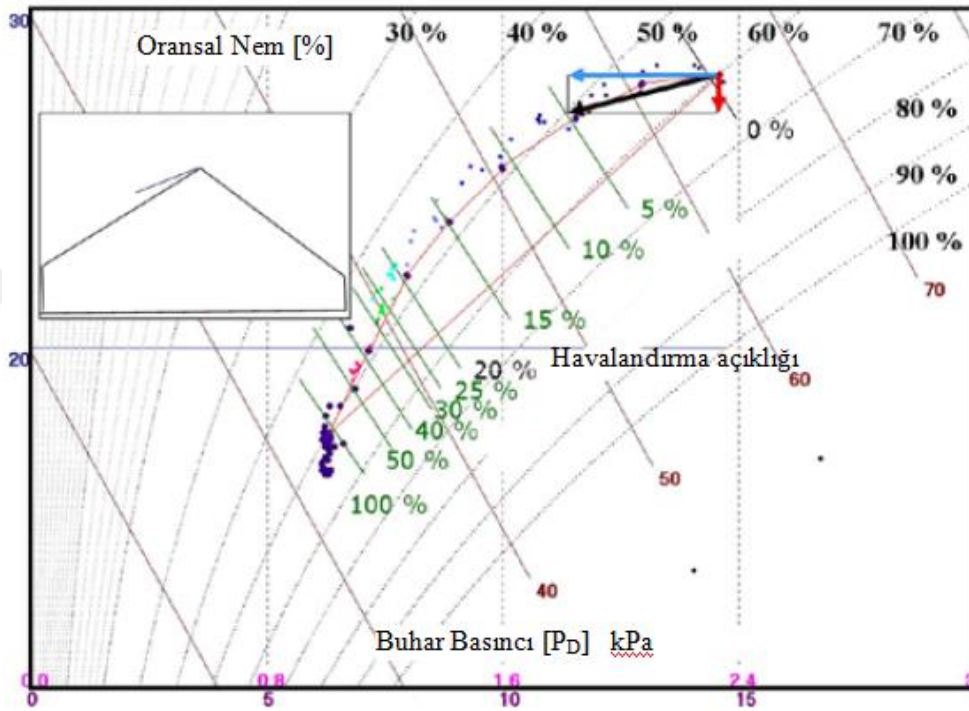
Yaprak/alan indeksi $3 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ olan bitkinin transpirasyon katsayısı $3 \text{ mg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ olduğunda havanın sahip olacağı gizli ısı miktarı 1000 kJ m^{-2} sera taban alanı olmaktadır (Şekil 2.11). Bu enerjiye sahip havayla U_{cs} katsayısı $4 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ olan ve içerisinde bitkisel üretimin yapılmadığı serada sıcaklığın 6 K yükseltilmesi mümkündür.



Şekil 2.11. Farklı Yaprak/Alan İndeksine Sahip Domates Bitkisinde Gece Saatlerinde Transpirasyona Bağlı Latent Isı Değerleri

Serada aynı zamanda ısı akısının dinamiği de önemli rol oynamaktadır. Literatürde bu konuda verilen kaynaklara göre latent ısı miktarı yüksek olan nemli havanın soğuk ve kuru havayla karıştırılması durumunda havadaki latent ısı duyulur ısıdan daha fazla etkilenmektedir. Havalandırma kapaklarının çok az açılması durumunda öncelikli olarak nemli havanın Serayı terk ettiği ve havalandırma kapaklarının daha fazla açılmasına bağlı olarak duyulur ısının ortamı terk ettiği görülmektedir (Şekil 2.12). Bu durum sera örtü yüzeyinde bulunan istenmeyen açıklılarda öncelikli olarak nem havayla latent ısının kaybolduğunu göstermektedir. Belirtilen nedenle seralarda ısı gereksiniminin hesaplanmasında ısı

kayıpları yanında su buharı ile kaybolan ısının dikkate alınması gereklidir. (Schmidt, 2008)



Şekil 2.12. Serada Havalandırma Kapaklarının Açıklık Oranlarına Bağlı Olarak Sera Havaındaki Değişimler

Serada yetiştirilen bitkinin yaprak alan indeksine (LAI) bağlı olarak ortaya çıkan transpirasyon ve topraktan meydana gelen evaporasyon örtü malzemesinin iç yüzeyinde yoğunlaşarak latent ısının kaybı ortaya çıkmaktadır. Bu durum sera örtü malzemesinin iç yüzey ısı iletimini artırmaktadır. Bitkisel üretimin yapılmadığı serada kuru örtü malzemesinin ısı iletim katsayısı $h_i=9 \text{ W.m}^{-2}\text{K}^{-1}$ ($R_i = 0,111 \text{ m}^2\text{K.W}^{-1}$) olarak belirlenirken, bitkisel üretimin yapıldığı serada latent ısı akısı nedeniyle ısı iletim katsayısı % 25- 40 oranında artarak $h_i=12 - 15 \text{ W.m}^{-2}\text{K}^{-1}$ ulaşmaktadır. Bu değerler saksı bitkileri içindir. Serada domates ve hıyar gibi yüksek LAI değerlerine sahip bitkisel üretimde h_i değerinin %50-60 oranında

artırılması uygundur. Farklı örtü malzemelerinin farklı iç yüzey ısı iletimlerine bağlı olarak hesaplanan ısı iletim katsayıları Çizelge 2.13’de verilmiştir (Tantau, 2013).

Çizelge 2.13. Serada Örtü Malzemesinin İç Yüzeyinde Ortaya Çıkan Yoğunlaşmaya Bağlı Olarak Hesaplanan Isı İletim Katsayısı

Örtü malzemesi	U ($W\ m^{-2}K^{-1}$)		
	$h_i=9$ $W.m^{-2}K^{-1}$	$h_i=12$ $W.m^{-2}K^{-1}$	$h_i=15$ $W.m^{-2}K^{-1}$
Katlanabilir yumuşak plastik örtü malzemeler			
UV katkılı PE plastik	7,0	8,7	10,1
UV Katkılı çift katlı PE	3,4	3,8	4,0
Tek katı koextüre EVA plastik	6,2	7,5	8,5
Tek katlı PVC plastik	6,1	7,3	8,4
Hava kabarcıklı PE plastik	5,4	6,3	7,1
Tek kat ETFE plastik tek kat	6,0	7,2	8,2
Tek kat ETFE plastik çift kat	3,0	3,3	3,5
Sert örtü malzemeleri			
Tek katlı cam	6,0	7,2	8,2
Çift katlı cam	3,0	3,3	3,5
PMMA, 16 mm aralıklı	2,5	2,7	2,8
PMMA, 32 mm aralıklı	1,6	1,7	1,7
PVC veya cam lifi ile güçlendirilmiş plakalar	6,8	8,4	9,7
Polikarbon plakalar, 6 mm aralıklı	3,6	4,0	4,3
Polikarbon plakalar, 10 mm aralıklı	3,2	3,5	3,7
Farklı malzeme kombinasyonları			
PE Plastik + Isı Perdese	3,56	3,95	4,23
PE Plastik + Isı Perdese + Gündüz Perdese	2,77	3,00	3,16
ETFE + Cam + ETFE	1,80	1,90	2,00
Tek kat cam + Gündüz Perdese	3,98	4,48	4,84
Tek kat cam + Gündüz Perdese + Isı Perdese	2,56	2,75	2,88
Tek kat cam + 2 Isı Perdese + karartma perdesi	1,33	1,38	1,42
Isı cam + Gündüz Perdese	2,43	2,61	2,73
Isı cam + Gündüz Perdese + Isı Perdese	1,81	1,91	1,97
Isı cam + 2 Isı Perdese + Karartma Perdese	1,10	1,13	1,10



3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Araştırma Adana'da (35:18 E – 37:10 N) koordinatlarında kurulmuş 20.160 m² büyüklüğündeki ısı perdeli modern PE plastik serada yürütülmüştür (Resim 3.1). Seranın yan duvarları çift kat Polikarbon (8 mm PC) çatısı tek kat katkılı PE plastik (200 µm) ile kaplanmıştır. Seranın havalandırması çatı bölgesinde bulunan havalandırma kapakları yardımıyla doğal olarak yapılmıştır. Çalışmanın yapıldığı sera boyutları Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Araştırma Serasının Boyut ve Teknik Özellikleri

	Birim	Değer		Birim	Değer
Sera bölme sayısı	adet	21	Çatı şekli	-	Gotik
Bölme genişliği	m	9,6	Sera alanı	m ²	20160
Sera uzunluğu	m	100,0	Sera örtü alanı	m ²	27340
Sera yan duvar yüksekliği	m	5,0	A _H /A _G	-	1,36
Mahya yüksekliği	m	7,0	Çatı şekli	-	Gotik



Şekil 3.1. Araştırmanın Yürütüldüğü Seranın İçten Görünüşü

Serada ısıtma sera tabanına ve yan duvarlara yerleştirilmiş 51 mm çapındaki çelik borularla yapılmıştır (Şekil 3.1).

Isıtma sisteminde 1.200.000 kCal (1395,6 kWh) gücündeki kömür kazanı kullanılmıştır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Sera Isıtmasında Kullanılan Kömür Kazanları

Serada sıcaklık üç yollu vanalar yardımıyla su sıcaklığının düzenlenmesi ile istenilen değerde tutulmuştur (Şekil 3.3). Serada sıcaklık 1 m yükseklikteki sensörler yardımı ile ölçülmüştür. Sera ısıtmasında kullanılan kömür miktarı günlük olarak kaydedilmiştir.



Şekil 3.3. Sıcak Suyun Kontrolünde Kullanılan Üç Yollu Kontrol Vanaları

Serada sıcaklığın korunması amacıyla ısı perdeleri (XLS 17) kullanılmıştır (Şekil 3.4). Perdeler güneş radyasyonuna bağlı olarak iklim bilgisayarı ile kontrol edilebildiği gibi elle manuel olarak açılıp toplanmıştır. Bilgisayarla yapılan denetimde güneşin batımından sonra ($q_s = 0 \text{ W/m}^2$) ısı perdeleri açılmış, güneşin doğması ile birlikte ($q_s > 0 \text{ W/m}^2$) ısı perdeleri toplanmıştır.



Şekil 3.4. Serada Enerji Korunumu Amacıyla Kullanılan Isı Perdeleri

Serada tüm iklim parametreleri ve denetleyici elemanların konumları (sıcaklık, nem, radyasyon, boru sıcaklığı, kapak konumları ve perde durumu) iklim bilgisayarı tarafından kontrol edilip, birer saatlik ortalamalar halinde kaydedilmiştir.

Serada domates üretimi topraksız ortamda yapılmıştır. Seraya 2,5 adet.m² Domates fidesi dikilmiştir. Serada sulama her bir bitkiye bir damlatıcı gelecek şekilde damla sulama ile (Spagetti sulama) yapılmıştır.

3.2. Metot

3.2.1. Isı Gereksinim Katsayısının Belirlenmesi

Serada ısı gereksinim katsayısı Eşitlik 3.1 yardımı ile hesaplanmıştır. (Meyer, 2008)

$$U_{cs} = \frac{\sum^{Gece} \Phi_{cs}}{A_{H*}(\theta_i - \theta_e)} \quad [3.1]$$

Eşitlikte;

Φ_{cs} :Isı tüketimi (Wh)

U_{cs} :Isı gereksinim katsayısı (W.m⁻² K⁻¹)

A_H :Örtü yüzey alanı (m²)

θ_i :İç sıcaklık (°C)

θ_e :Dış sıcaklık (°C)

Isıtma kazanı tarafından seraya gönderilen ısı enerjisi (Φ_{cs}) giden, dönen su sıcaklığı ve seraya gönderilen su kütlesinden yararlanılarak Eşitlik 3.2 yardımı ile hesaplanmıştır.

$$\Phi_{cs} = m_w * c_p * (\theta_V - \theta_R) \quad [3.2]$$

Eşitlikte;

Φ_{cs} :Isı enerjisi (kW)

m_w :Sistemde dolaşan suyun kütlesi (kg s⁻¹)

c_p :Suyun özgül enerjisi (kJ.kg⁻¹.K⁻¹)

θ_V :Sisteme giren su sıcaklığı (°C)

θ_R :Sistemden dönen su sıcaklığı (°C)

Serada kurulmuş olan ısıtma sistemi iki kısma ayrılmış (Kuzey-Güney bölmesi) olup bünyesinde toplam 180 m³ su bulundurmaktadır. Hesaplamalarda gerekli olan kütleli debi hacimsel debiden gidilerek Eşitlik 3.3 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$m_w = V_w * \rho \quad [3.3]$$

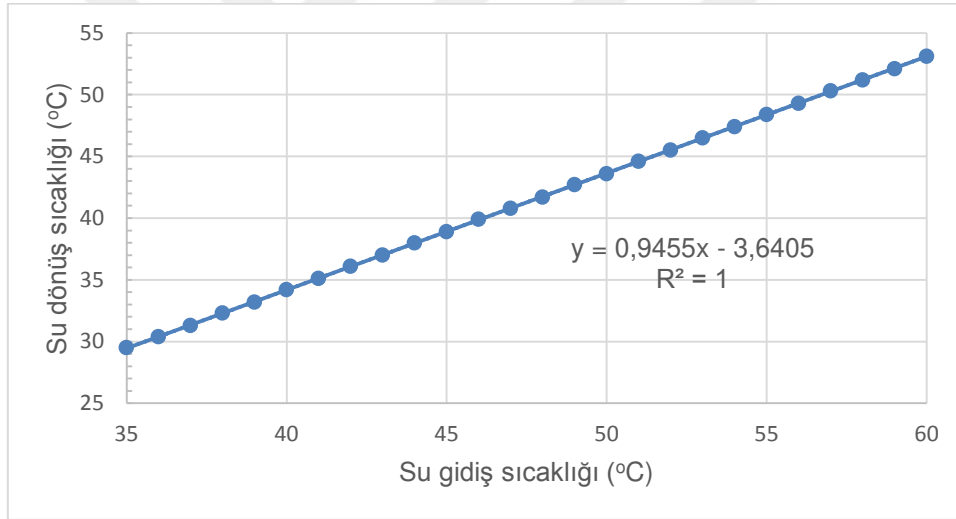
Eşitlikte;

m_w :kütleli debi (kg.s^{-1})

V_w :Hacimsel debi ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$)

ρ :Suyun Yoğunluğu (kg.m^{-3})

Yapılan çalışmada seraya giden su ve dönen su sıcaklıkları arasında Şekil 3.5'te verilen ilişki dikkate alınarak dönen su sıcaklığı belirlenmiştir.



Şekil 3.5. Araştırma Serasında Su Gidiş Ve Dönüş Sıcaklıkları Arasındaki İlişki

Su gidiş ve dönüş sıcaklıklarına bağlı olarak yapılan iki örnek hesaplama aşağıdaki tablolarda verilmiştir. Tablolardan da görüleceği gibi su gidiş ve dönüş sıcaklığı arasındaki farka bağlı olarak seraya gönderilen ısı enerjisi değişmektedir. Su gidiş sıcaklığı yükseldikçe, su gidiş ve dönüş farkı büyümekte ve buna bağlı olarak seraya gönderilen ısı enerjisi artmaktadır.

Seraya bir saat içinde gönderilen ısı enerjisi Excel programının makrosun da hazırlanmış bir program yardımı ile hesaplanmıştır. Programa ait ara yüz aşağıda verilmiştir (Şekil 3.6).

	A	B	C	D
1				
2		Su Debisi Kuzey taraf	90	m3/h
3		Su Debisi Güney taraf	90	m3/h
4		Kazanda dolanan su miktarı	180	m3/h
5		Kazan verimi	63,0	%
6		Su gidiş sıcaklığı	48,3	C derece
7		Su dönüş sıcaklığı	42,0	C derece
8		Sera ısıtma borusu yüzeyi	4.447	m2
9		Sera Polietilen 300 mikron çatı	23.925	m2
10		Sera Polikarbon yan yüzey	3.375	m2
11		Aktarılan ısı	1.125.818	kCal/h
12		Kömür ısı verimi	7000	kcal/kg
13		Anlık kömür tüketimi	255,3	kg/h

Şekil 3.6. Seraya Gönderilen Isı Miktarının Belirlenmesinde Kullanılan Program

Serada ısı gereksinim katsayısının hesaplanmasında gün boyu güneşten kazanılan ve serada depolanan ısı enerjisinin ısı gereksinim katsayısını etkilememesi için seraya gönderilen ısı enerjisinin gece 24:⁰⁰-05:⁰⁰ arasındaki ortalaması alınmıştır.

Serada yapılan ısıtma borusu sıcaklık ölçümlerine bağlı olarak seraya aktarılan ısı miktarları Eşitlik 3.2'den yararlanılarak hesaplandıktan sonra Çizelge 3.2'de verildiği gibi raporlanmıştır.

Çizelge.3.2. 15-16/12/2014 Tarihine İlişkin Isı Miktarının Hesaplanması

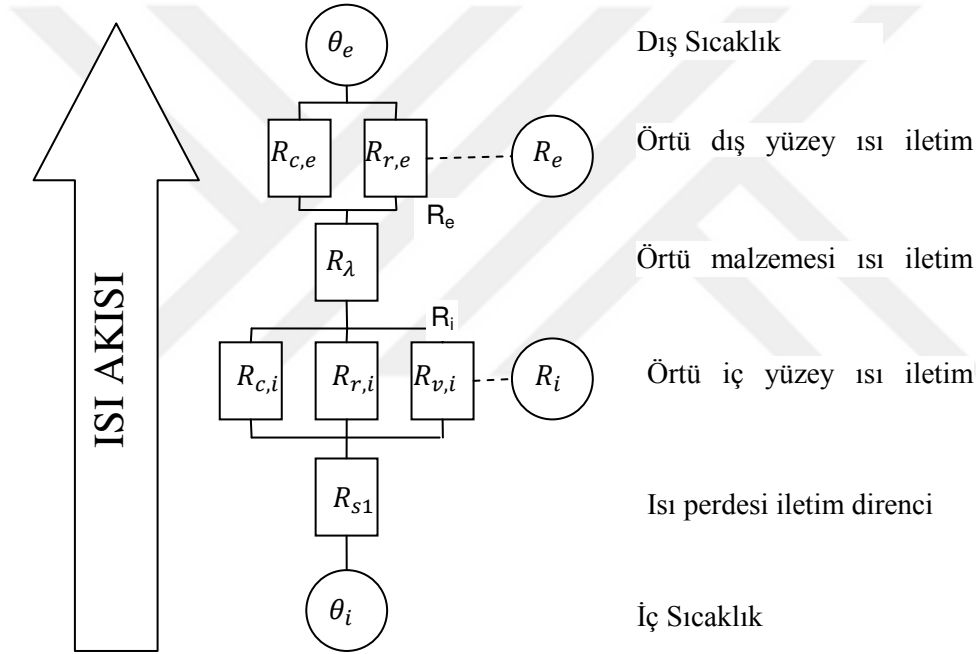
	Outside Temp	Greenhouse	Relative Ht	Wind Speed	Primary pij	Dew Point	ÇARPAN	AKTARILAN ISI (kCal/h)
15.12.2014 16:00	14,4	16,3	82,1	0,1	23,6	13,3	0	0
15.12.2014 17:00	10,6	14,0	84,9	1,4	22,6	11,5	0	0
15.12.2014 18:00	9,0	13,1	84,9	1,6	36,1	10,7	0	0
15.12.2014 19:00	8,1	13,8	85,9	1,6	42,9	11,5	1	1.066.909
15.12.2014 20:00	7,5	14,2	86,3	1,2	46,7	12,0	1	1.106.182
15.12.2014 21:00	7,1	15,1	86,8	0,9	48,3	12,9	1	1.125.818
15.12.2014 22:00	6,5	15,3	82,7	1,1	44,0	12,3	1	1.086.545
15.12.2014 23:00	5,8	14,9	82,8	0,0	44,9	12,0	1	1.086.545
16.12.2014	5,3	15,4	80,0	0,6	49,8	12,0	1	1.135.636
16.12.2014 01:00	4,6	15,2	82,0	0,8	49,3	12,1	1	1.135.636
16.12.2014 02:00	4,2	15,2	84,5	0,4	48,2	12,6	1	1.125.818
16.12.2014 03:00	3,7	14,9	86,2	0,5	47,6	12,6	1	1.116.000
16.12.2014 04:00	3,6	14,5	85,2	0,6	47,2	12,0	1	1.116.000
16.12.2014 05:00	2,9	14,6	86,5	0,1	47,1	12,3	1	1.116.000
16.12.2014 06:00	2,9	14,4	88,0	0,3	47,2	12,5	1	1.116.000
16.12.2014 07:00	3,9	15,0	89,3	0,2	47,7	13,2	1	1.116.000
16.12.2014 08:00	9,0	17,8	87,3	0,0	43,3	15,6	1	1.076.727
16.12.2014 09:00	12,9	18,8	78,7	0,3	32,3	15,0	1	968.727
16.12.2014 10:00	16,1	19,6	74,8	0,9	29,0	15,0	0	0
16.12.2014 11:00	19,5	20,5	74,6	0,4	28,6	15,8	0	0
16.12.2014 12:00	21,9	21,3	67,8	0,2	29,3	15,0	0	0
16.12.2014 13:00	22,1	20,6	65,0	0,8	29,8	13,8	0	0
16.12.2014 14:00	20,6	19,6	63,5	1,1	29,3	12,4	0	0
16.12.2014 15:00	18,6	18,0	68,2	0,1	28,0	12,0	0	0
							TOPLAM	16.494.545 kcal/gün

Çizelgeden de görüleceği gibi birim zamanda seraya gönderilen ısı enerjisi su sıcaklığına bağlı olarak kCal.h^{-1} olarak hesaplanmaktadır.

3.2.2. Isı İletim Katsayısının Teorik Olarak Hesaplanması

Yapılan araştırmada sera donanımına ve serada ortaya çıkan sıcaklık değerlerine bağlı olarak belirlenen ısı iletim katsayısının teorik olarak hesaplanan ısı iletim katsayısı ile karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla çalışmada, Tantau (2013) tarafından test edilen ve uygulamada elde edilmiş sonuçlarla iyi uyum gösteren direnç metodu kullanılmıştır. Bu yöntemle göre ısı geçirgenlik katsayısı (U) seradaki donanıma bağlı ortaya çıkan dirençlerin toplamından gidilerek hesaplanmaktadır (Şekil 3.7). Bu yöntemle serada kullanılan ısıtma sistemi ve ısı korunumu amacıyla kullanılan farklı donanımların (ısı perdesi, çok katlı örtü malzemesi) dikkate alınması mümkün olabilmektedir.

Kullanılan modele göre araştırmanın yapıldığı seranın çatı örtüsünde ortaya çıkan ısı akısı Şekil 3.7'de verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi serada kullanılan ısı perdesine bağlı olarak ısı iletim direnci R_{s1} , sera örtü malzemesi ve ısıtma boruları arasındaki ışıma (radyasyon) bağlı direnç ($R_{i,r}$), örtü iç yüzeyinde ortaya çıkan hava hareketine (konveksiyon) bağlı direnç ($R_{i,cv}$) ve örtü iç yüzeyindeki yoğunlaşmaya (kondensasyon) bağlı direnç ($R_{i,cd}$) çıkmaktadır. Sera örtüsü iç yüzeyinde ortaya çıkan dirençler toplamı $R_{s,i}$ olarak ifade edilmektedir.



Şekil 3.7. Serada Isı İletim Katsayısının Hesaplanmasında Kullanılan Model

$$R_T = (R_i + R_\lambda + R_e + R_{s1} + \dots + R_{sn}) \quad (\text{m}^2\text{K.W}^{-1}) \quad [3.4]$$

Örtü malzemesinin transmisyon ısı iletim katsayısı (U_T) örtü iç, dış yüzeyinde ve örtü malzemesinde ortaya çıkan dirençlerin toplamından gidilerek Eşitlik 3.5 yardımı ile belirlenmektedir.

$$U_T = (R_i + R_\lambda + R_e + R_{s1})^{-1} \quad (\text{W.m}^{-2}\text{K}^{-1}) \quad [3.5]$$

Bitkisel üretimin yapılmadığı seralarda örtü iç ve dış yüzey ısı iletimi $h_i = 9$ ve $h_e = 25 \text{ W.m}^{-2}\text{K}^{-1}$ alınmaktadır (Tantau, 2012; Tantau, 2013). Bu durumda iç yüzey ısı iletim direnci $R_i = 0,111 \text{ m}^2\text{K.W}^{-1}$ ve örtü dış yüzey ısı iletim direnci $R_e = 0,04 \text{ m}^2\text{K.W}^{-1}$ olmaktadır. Örtü malzemesinin iç yüzeyinde latent ısı akısının toplam ısı akısına oranı (P_{lat}) h_i değerine bağlı olarak değişmektedir. Tantau (2013) iyi yalıtılmış serada saksıda süs bitkisi üretiminin yapıldığı koşullarda latent ısı akısının toplam ısı akısına oranını % 25-40 arasında belirlemiştir. Araştırmacı yaptığı çalışmalara dayanarak domates ve hıyar gibi büyük yaprak alan indeksine sahip ürünlerin yetiştirildiği seralarda latent ısı akısının toplam ısı akısına oranının % 50-60 arasında alınabileceğini ifade etmektedir.(Tantau,2013).Yapılan hesaplamalarda örtü malzemesinden oluşan toplam ısı akısının % 25, % 40 ve %50'sinin latent ısı olarak ortaya çıktığı kabul edilmiş ve buna bağlı olarak yapılan hesaplamalarda örtü iç yüzey ısı iletimleri $h_i = 12$, $h_i = 15$ ve $h_i = 18 \text{ W.m}^{-2}\text{K}^{-1}$ olarak alınmıştır.

Araştırmada kullanılan PE örtü malzemesinin ısı geçirgenlik katsayısından (U) gidilerek örtü malzemesinin ısı iletim dirençleri (R_λ) Eşitlik 3.6'dan yararlanılarak hesaplanmıştır.

$$R_\lambda = U^{-1} - R_i - R_e \quad (\text{m}^2\text{K.W}^{-1}) \quad [3.6]$$

Serada ısı koruma amacıyla kullanılan farklı perdelerin ısı iletim dirençleri (R_λ) Çizelge 3.3'te verilmiştir. Sera donanımına bağlı olarak hesaplanan ısı geçirgenlik katsayılarında direnç değerleri esas alınmıştır. Serada farklı örtü malzemesi ve ısı koruma amacıyla farklı perdelerin kullanılması durumunda Şekil 3.3'de verilen direnç modelinde görüldüğü gibi serada kullanılan örtü malzemesi ve perdelerin ısı geçirgenlik dirençleri toplanarak U katsayıları Eşitlik 3.7 ile hesaplanmıştır.

$$U_T = (R_{s,i} + R_\lambda + R_{s,e} + R_{s1})^{-1} \quad (\text{W.m}^{-2}\text{K}^{-1}) \quad [3.7]$$

Seralarda kullanılan farklı perdelerin ısı geçirgenlik dirençleri Çizelge 3.3 de verilmiştir (Tantau ,2012).

Çizelge 3.3. Seralarda Kullanılan Farklı Perdelerin Isı Geçirgenlik Dirençleri

Perde	$R_\lambda \text{ (m}^2\text{K.W}^{-1}\text{)}$
Gündüz perdesi	0,08
Enerji perdesi	0,14
Gölgeleme perdesi	0,36

3.2.3. Çatı İç Yüzey Sıcaklığının Hesaplanması

Serada ortaya çıkan sıcaklık ve nem değerleri bitki gelişimi için önem arz ederken, örtü iç yüzey sıcaklığı seradaki nemin yoğunlaşmasına neden olabilmektedir. Serada çatı iç yüzey sıcaklığının belirlenmesi örtü malzemesinde ortaya çıkan yoğunlaşma açısından önemlidir. Yapılan çalışmada çatı iç yüzey sıcaklığının hesaplanması Eşitlik 3.8 yardımı ile yapılmıştır (Tantau, 2013).

$$\theta_{si} = (R_\lambda + R_e) * U * (\theta_i - \theta_e) + \theta_e \text{ (}^\circ\text{C)} \quad [3.8]$$

3.2.4. Çiğ Noktası Sıcaklığının Hesaplanması

Sera örtü yüzeyinde çiğ oluşumu için örtü yüzey sıcaklığının bilinmesi yanında, seradaki nem ve sıcaklık değerlerine bağlı olarak çiğ noktası sıcaklığının bilinmesi gereklidir. Sera havasının sıcaklık ve nem değerlerine göre çiğ oluşum sıcaklığı hava sıcaklığının 0°C'nin altında ve üstünde olmasına bağlı olarak Eşitlik 3.9 ve Eşitlik 3.10 yardımı ile hesaplanmıştır.

$$\theta_l > 0^\circ\text{C}$$

$$\theta_\varphi = \frac{1}{\frac{1}{\theta_l + 231,67} - \frac{\ln \varphi}{3928,5}} - 231,67 \quad (^\circ\text{C}) \quad [3.9]$$

$$\theta_l < 0^\circ\text{C}$$

$$\theta_\zeta = \frac{1}{\frac{1}{\theta_l + 273,33} - \frac{\ln \varphi}{6150,6}} - 273,33 \quad (^\circ\text{C}) \quad [3.10]$$

Eşitliklerde;

θ_l :Havanın kuru termometre sıcaklığı ($^\circ\text{C}$)

φ :Havanın oransal nemi (%)

Sıcaklığın 0°C 'nin altında ve üstünde olmasına bakılmadan seradaki nem ve sıcaklık değerlerine göre çiğ noktası sıcaklığı Eşitlik 3.11 yardımı ile hesaplanmaktadır.

$$\theta_\zeta = \varphi^{\frac{1}{8,02}} * (109,8 + \theta) - 109,8 \quad (^\circ\text{C}) \quad [3.11]$$

Eşitlikte;

θ_ζ =Çiğ noktası sıcaklığı ($^\circ\text{C}$)

φ =Oransal nem (-)

θ =Sıcaklık ($^\circ\text{C}$)

Yapılan çalışmada Elsner (2008) tarafından belirlenmiş koşullar dikkate alınarak, ısı gereksinim katsayısı hesaplanmıştır.Bunlar; güneşten kazanılan ısı enerjisinin hesaplamalarda yaratacağı hatanın ortadan kaldırılması için hesaplamalar gece saatlerinde yapılmıştır, ölçümler sera içinde en az beş noktada ve bitki sıra aralarında yerden 1 m yükseklikte yapılmalıdır. Gatır veya masa üzerinde yapılan üretimde algılayıcıların masadan 1 m yüksekte olmasına dikkat edilmelidir, Yapılan ölçümlerin güvenliklerini artırmak amacıyla yüksek sıcaklık farkına sahip saatler dikkate alınmıştır ($\Delta\theta > 8 \text{ K}$), ölçümler sırasında serada asimilasyon aydınlatmasının olmadığına dikkat edilmiştir, ısı gereksinim katsayısı (U_{cs}) Hesaplamalarda mümkün olduğunca saatlik değerlerden çok belirli bir periyot için ortalama değerler alınarak yapılmıştır. Bu periyodun uzunluğu en az 2

saatten fazla alınmıştır, hesaplanan U_{cs} değerleri ile rüzgar kuvvetleri arasında regresyon analizi yapılarak rüzgar etkisinin ısı gereksinim katsayısına etkisi belirlenmiştir, elde edilecek U_{cs} değerlerine bağlı olarak karşılaştırmanın yapılabilmesi için rüzgar hızının 4 m/s olduğu U_{cs} esas alınmıştır, ısı gereksinim katsayısına dış hava koşullarının etkisinin belirlenmesi amacıyla mümkün olduğunca ölçümlerin yapıldığı günlerde gökyüzü koşullarına (açık, kapalı, yağmurlu gibi) dikkat edilmiştir, hava değişimiyle ortaya çıkan ısı kayıpları açısından seranın yalıtımı özellikle incelenmiştir, Mümkün olduğunca eşit dış iklim koşulları için ortalama U_{cs} katsayısı belirlenmiştir.

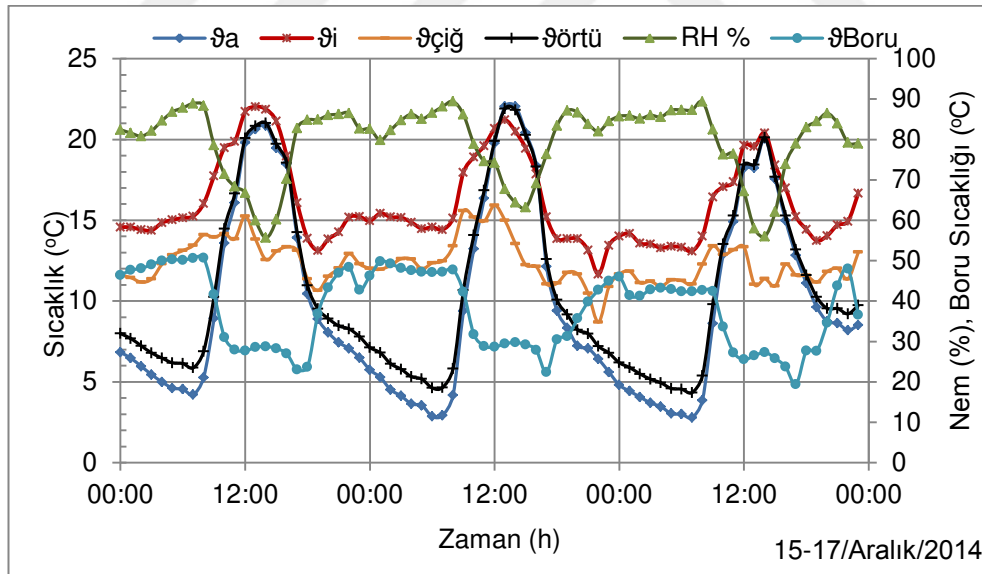


4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Adana iklim koşullarında üretici koşullarındaki ısı perdeli modern PE plastik serada günün koşullarına bağlı iklim etmenlerinin seyri kaydedilmiş ve ısı tüketim katsayılarının sayısal değerleri belirlenmiştir. Üretici koşullarında belirlenmiş ısı gereksinim katsayısının rüzgâr hızı ile arasındaki bağlantıları ortaya konmuş ve teorik olarak hesaplanan ısı gereksinim katsayısı ile karşılaştırılmıştır.

4.1. Sera İklim Verilerinin Değerlendirilmesi

Araştırmanın yapıldığı PE plastik serada salkım domates fidesi dikimi Ağustos ayının son haftasında yapılmış ve ısıtmaya 2014 yılı Kasım ayında başlanmıştır. Serada 15-17 Aralık 2014 tarihlerin arasında yapılan ölçümler Şekil 4.1’de verilmiştir.



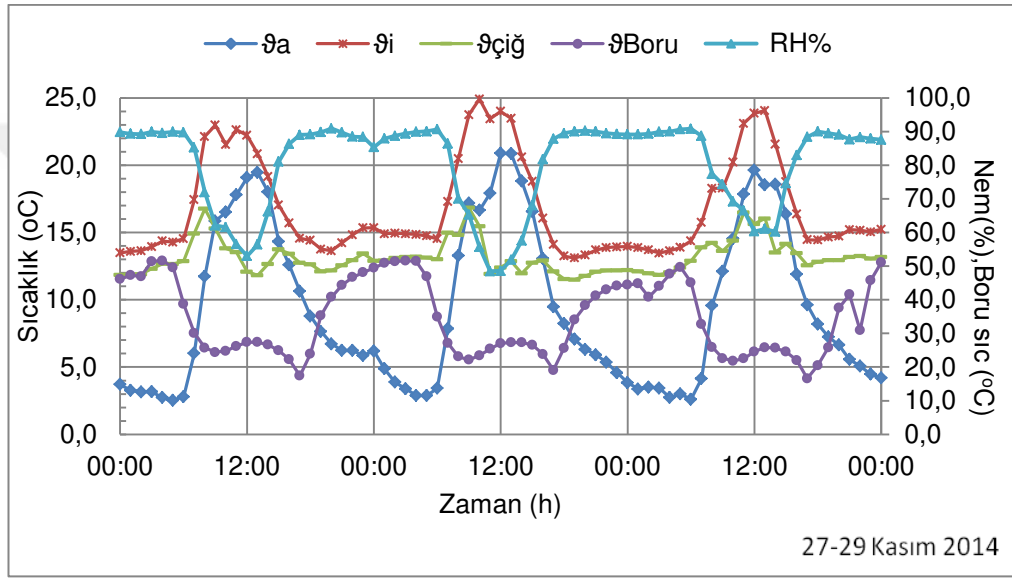
Şekil 4.1. Araştırmanın Yapıldığı Serada Günün Saatlerine Bağlı Olarak Sıcaklık ve Nem Değerleri

Şekilden de görüleceği gibi serada sıcaklık 15°C'ye ayarlanmasına rağmen çok soğuk günlerde dış iklim koşullarına bağlı olarak yaklaşık 14°C seviyelerinde tutunabilmiştir. Gece saatlerinde ısıtma borularının sıcaklığı 45-50°C arasında değişmiştir. Güneşin doğuşundan hemen sonra dış ortamda ve serada sıcaklık yükselirken, oransal nem değerleri azalmaya başlamış ve öğle saatlerinde % 58'lere kadar düşmüştür. Öğle saatlerinde artan dış sıcaklığa bağlı olarak serada sıcaklık değerleri 20°C'nin üzerine yükselmiştir. Şekilden de görüleceği gibi ısıtma sistemi saat 17:00'de devreye girmiş ve sabah saat 07:00'de devre dışı kalmıştır.

Serada bitki gelişimine etki eden en önemli iklim parametrelerinden birisi de hava nemidir. Serada sıcaklığın 15°C'ye ayarlandığı koşullarda oransal nem değerleri gece boyunca perde altında % 80-90 arasında değişim göstermiştir. Şekil 4.1'den de görüleceği gibi perde altındaki sıcaklık ve oransal nem değerlerine göre gece saatlerinde hesaplanan çiğ noktası sıcaklıkları yaklaşık 11-12°C civarında seyretmiştir. Ancak gece saatlerinde örtü malzemesi sıcaklıkları dış sıcaklık değerlerinin yaklaşık 2°C üzerinde seyretmiştir. Isı korunumu amacıyla sıkıca kapatılan ısı perdeleri nedeniyle perde altında hava neminin örtü yüzeyinde yoğunlaşması engellenmiştir. Ancak bu durum perde altındaki nem değerlerinin arzu edilmeyen sınırlara ulaşmasına neden olmuştur. Nem değerlerinin % 90'ın üzerine çıktığı gecelerde ısı perdeleri aralanarak nemin uzaklaşması sağlanırken örtü yüzeyinde aşırı yoğunlaşma oluşmuştur. Bu durumda yoğunlaşan su damlalarının bitkiye ulaşmasını engellemek amacıyla havalandırma kapakları çok az açılarak nemin düzenlenmesine çalışılmıştır.

Şekil 4.2'de 27-29 Kasım 2014 tarihleri arasında serada ölçülen iklim değerleri, boru ve dış sıcaklık değerleri verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi gece saatlerinde dış sıcaklık değerleri 2-3°C'ye kadar düşerken serada sıcaklık değerleri gece saatlerinde 14-15°C'de tutulmuştur. Gündüz saatlerinde iç sıcaklık değerleri güneş radyasyonuna bağlı olarak 25°C'ye kadar yükselmiştir. Serada bitki gelişimini etkileyen önemli parametrelerinden biri olan hava nemi ise gündüz

saatlerinde seradaki sıcaklığa bağlı olarak % 50 değerlerine kadar düşmüştür. Ancak gece saatlerinde hava sıcaklığının azalmasına bağlı olarak serada nem değerleri yükselerek % 90 değerinin üzerine tırmanmıştır. Bu durum serada bitki terlemesine (transpirasyon) olumsuz yönde etkilerken bitki yaprak ve meyvelerinin üzerinde yoğunlaşma tehlikesinin ortaya çıkmasına neden olabilmektedir.

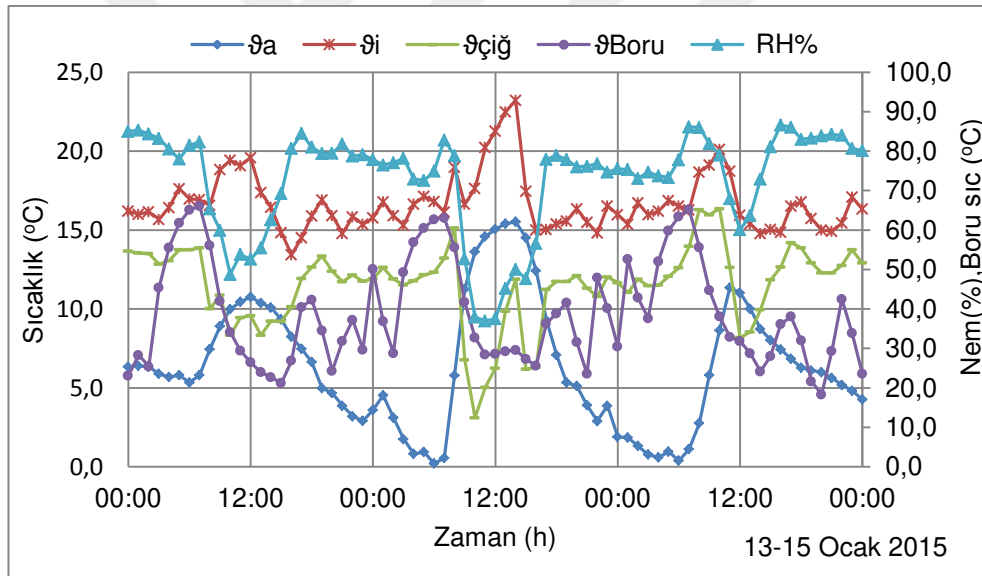


Şekil 4.2. Araştırmanın Yapıldığı Serada Günün Saatlerine Bağlı Olarak Sıcaklık Ve Nem Değerleri

Ölçümlerin yapıldığı günlerde serada ortaya çıkan çığ noktası sıcaklık değerleri ısıtılan serada iç sıcaklık değerlerinin altında seyretmiştir. Serada sıcaklık değerleri çığ noktası sıcaklığına ulaşmadığından bitki yaprak ve meyveleri üzerinde yoğunlaşma görülmemiştir. Gece saatlerinde örtü iç yüzey sıcaklığı çığ noktası sıcaklığının çok altında seyrettiğinden örtü iç yüzeyinde yoğunlaşma tehlikesi her koşulda oluşmuştur. Ancak gece saatlerinde kapatılan ısı perdeleri nedeniyle örtü iç yüzeyinde yoğunlaşma önlenirken, perde altındaki nem değerlerinin aşırı yükselmesine engel olunamamıştır.

Serada gece saatlerinde perde altında ortaya çıkan yüksek nem sorununun ortadan kaldırılması amacıyla gecenin ilerleyen saatlerinde ısı perdeleri ve havalandırma kapakları aralanarak perde altındaki nem değerlerinin düşürülmesine çalışılmıştır.

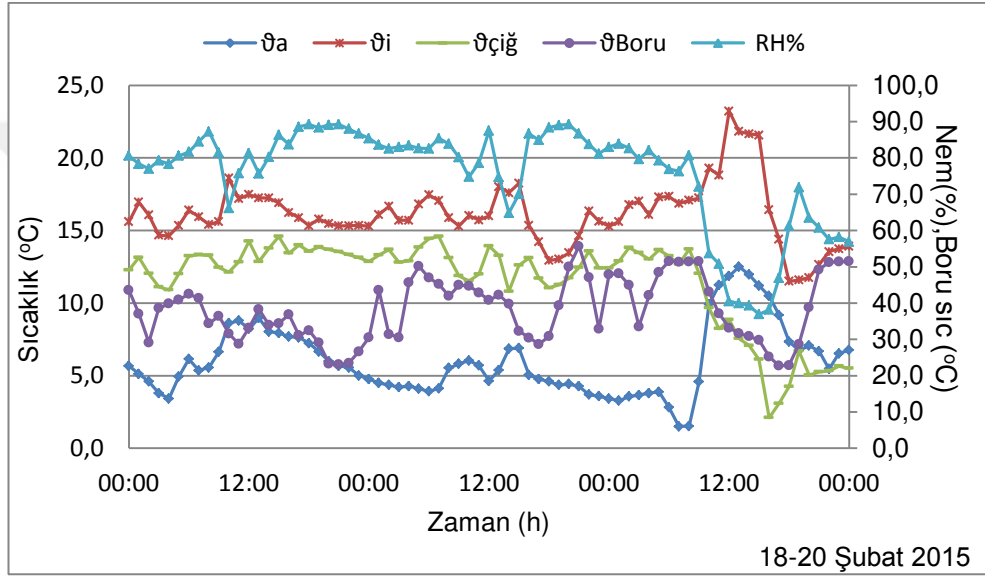
Şekil 4.3'de 13-15 Ocak 2015 tarihleri arasında serada yapılan ölçümler sonucunda elde edilen dış, iç, boru sıcaklık değerleri ile nem değerleri verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi Ocak 2015 yılında dış sıcaklık değerleri bazı günlerde 0°C'ye kadar düşerken, serada sıcaklık değerleri gece saatlerinde arzulanan 15°C'de tutulmuştur. Aynı şekilde gece saatlerinde hava neminin kısa süreli de olsa açılan havalandırma kapakları yardımıyla % 80'ler civarında tutulduğu görülmektedir.



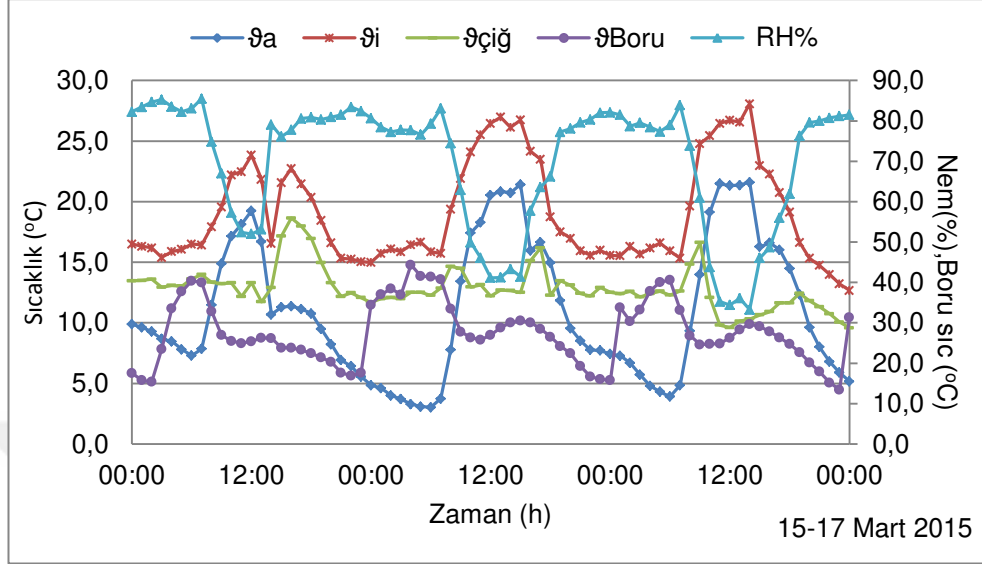
Şekil 4.3. Araştırmanın Yapıldığı Serada Günün Saatlerine Bağlı Olarak Sıcaklık Ve Nem Değerleri

Şekil 4.4 ile Şekil 4.5te araştırmanın yapıldığı serada Şubat ve Mart aylarına ait ölçülen sıcaklık ve nem değerleri verilmiştir. Şekillerden de görüldüğü gibi havaların ısınmasıyla birlikte gece saatlerindeki dış sıcaklık değerlerinin ortalaması diğer aylara göre artmıştır. Dış sıcaklık değerlerin artması seranın ihtiyaç duyulan

ısı enerjisini azaltmaktadır. Isı enerjisi gereksinimin azalmasıyla ortalama boru sıcaklıkları da düşmüştür. Şekillerde de (Şekil 4.4 ve Şekil 4.5) görüldüğü gibi serada istenen iç sıcaklık (15°C) kolaylıkla sağlanabilmektedir. Gece saatlerinde oransal nem ortalaması % 80-90 arasında iken öğle saatlerinde % 40-50 civarında seyretmiştir.



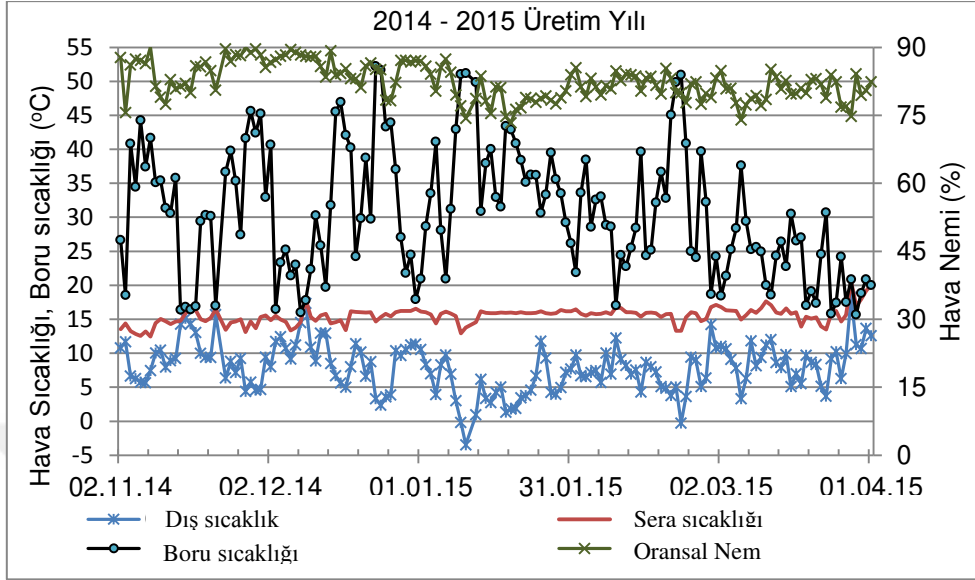
Şekil 4.4. Araştırmanın Yapıldığı Serada Günün Saatlerine Bağlı Olarak Sıcaklık ve Nem Değerleri



Şekil 4.5. Araştırmanın Yapıldığı Serada Günün Saatlerine Bağlı Olarak Sıcaklık ve Nem Değerleri

Adana iklim koşullarında seralarda gündüz saatlerinde ısıtmaya ihtiyaç duyulmamaktadır. Şekil 4.1 ‘den Şekil 4.5’e kadar oluşturulan grafikler de görüldüğü gibi gündüz saatlerinde serada sıcaklık değerleri 25°C’ye kadar yükselebilmektedir. Bu durum Akdeniz bölgesinde ısı enerjisi gereksinimini ciddi anlamda azaltmaktadır.

Şekil 4.6’da 2014-2015 üretim yılında Kasım-Mart döneminde gece 20:⁰⁰ sabah 05:⁰⁰ saatleri arasında serada ve dış ortamda ölçülen sıcaklık ve seradaki nem ortalamaları verilmiştir.



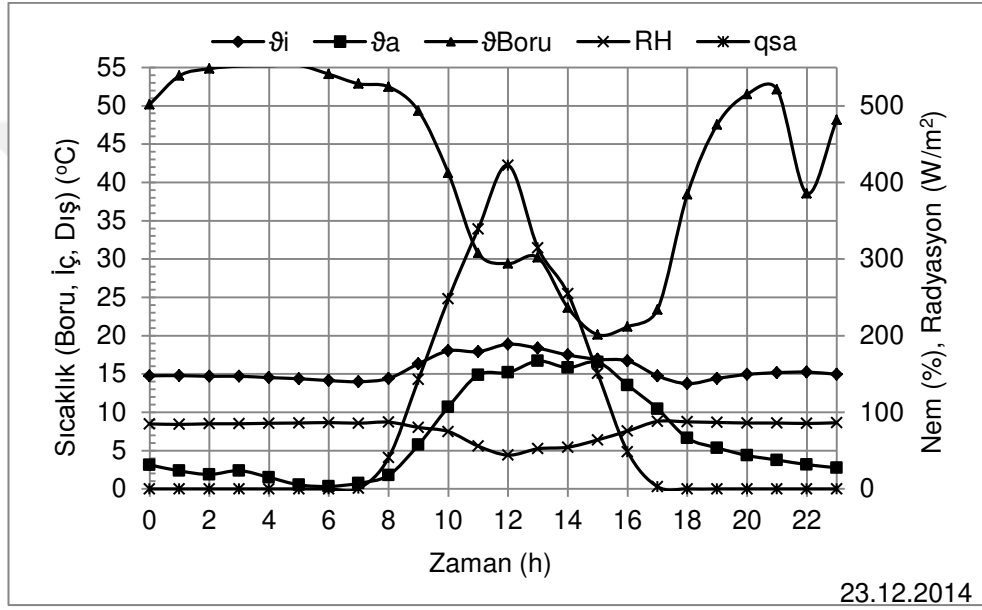
Şekil 4.6. 2014-2015 Yılında Kasım-Mart Döneminde Serada Ve Dış Ortamda Ölçülen Gece Sıcaklık Ve Nem Ortalamaları

Şekil 4.6’da görüldüğü gibi serada gece saatlerinde sıcaklık set edilen değerlerde (15°C) tutulmaya çalışılırken, dış sıcaklık değerleri Kasım-Ocak döneminde 15°C ile -5°C arasında değişmiştir. Serada sıcaklık değerlerine bağlı olarak ısıtma borularının sıcaklık değişimleri de Şekil 4.6’da verilmiştir. Serada sıcaklığın 15°C’de tutulabilmesi için boru sıcaklıkları dış sıcaklığa bağlı olarak 53°C’ye kadar yükselmiştir. Bu değer dış sıcaklığın 0°C’nin altına düştüğü Ocak ayında görülmüştür.

Gece saatlerinde perdenin kapalı olması nedeniyle perde altındaki nem değerleri perde altındaki sıcaklığa bağlı olarak % 85-90 arasında değişim göstermiştir. 2014-2015 üretim yılında serada nemin aşırı yükselmesine bağlı olarak Ocak ayının ilk haftasından sonra gece saatlerinde havalandırma kapakları belirli aralıklarla kısa süreli olarak aralanarak seradaki yüksek nem kontrol edilmeye çalışılmıştır. Şekil 4.6’da görüleceği gibi 8 Ocak tarihinden sonra ısıtma ile birlikte yapılan kısa süreli havalandırma ile seradaki nem değerleri % 80

civarında tutulmaya çalışılmıştır. Ancak bu durum seradan nemle birlikte ciddi anlamda ısı enerjisinin dış ortama taşınmasına neden olmuştur.

Serada sıcaklık ve nem değerleri ısıtma sistemiyle seraya iletilen ısı enerjisine bağlı olarak değişmektedir. Şekil 4.7’de 23 Aralık 2014 tarihinde serada ölçülen sıcaklık, nem, boru sıcaklığı ve dış radyasyon değerleri verilmiştir.

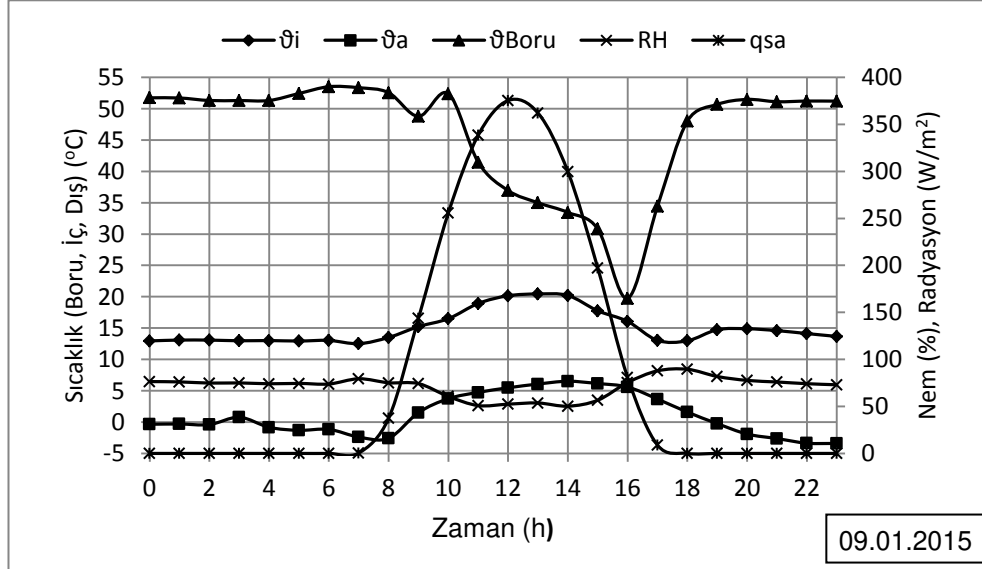


Şekil 4.7. Serada İç, Dış ve Boru Sıcaklık Değerlerinin Günün Saatlerine Bağlı Değişimi

Şekil 4.7’den de görüldüğü gibi dış sıcaklık değerleri gece saatlerinde 0°C’ye ulaşırken serada sıcaklık değerleri 15°C’de tutulmaya çalışılmıştır. Serada sıcaklığın 15°C’de tutulabilmesi için ısıtma borularının sıcaklığı gece saatlerinde 55°C’ye kadar yükselmiştir. Sabah saat 07:00’den hemen sonra güneşin doğuşuna bağlı olarak serada sıcaklık yükselirken, ısıtma boruları sıcaklıkları öğle saatlerinde 30°C’ye, ilerleyen saatlerde ise 20°C’ye kadar düşmüştür. Boru sıcaklıkları gün boyu azalırken, ortam sıcaklığı güneş radyasyonuna değerlerine bağlı olarak yükselmiştir.

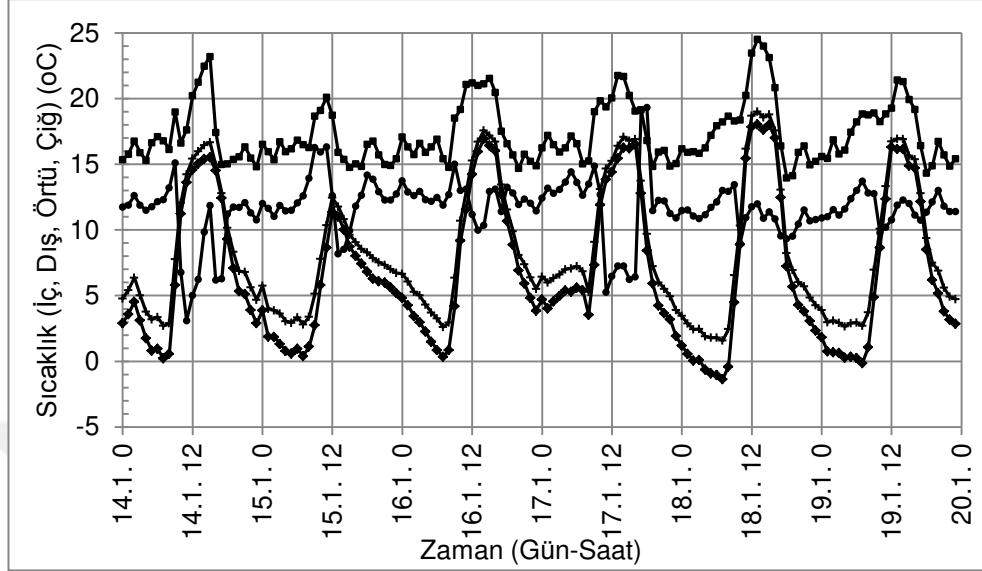
Serada sıcaklık değerlerinin değişimine bağlı olarak ortamdaki nem değerleri de değişim göstermektedir. Gece saatlerinde % 85 değerlerine kadar yükselen nem değerleri gündüz saatlerinde artan iç sıcaklık değerlerine bağlı olarak % 50 değerlerine kadar azalmıştır.

Şekil 4.8’te 9 Ocak 2015 tarihe ait seradaki sıcaklık, nem ve boru sıcaklıkları verilmiştir. Şekil 4.8’den de görüleceği gibi dış sıcaklık değerleri 0°C’nin altında seyrettiği gecelerde boru sıcaklığının 55°C’nin altında tutulması durumunda serada sıcaklık değerleri gece saatlerinde 13-14°C arasında tutulurken nem değerleri % 65 oranında seyretmiştir.



Şekil 4.8. Serada İç, Dış ve Boru Sıcaklık Değerlerinin Günü Saatlerine Bağlı Değişimi

Serada dış ve iç sıcaklığa bağlı olarak ortaya çıkan örtü iç yüzey sıcaklığı nemin yoğunlaşması açısından büyük bir öneme sahiptir. Şekil 4.9’da 14-20 Ocak 2015 tarihlerinde iç ve dış sıcaklık değerlerine bağlı olarak hesaplanan örtü iç yüzey sıcaklıkları ve çığ noktası sıcaklıkları verilmiştir.



Şekil 4.9. Araştırma Serasında İç, Dış, Çiğ Noktası Ve Örtü Malzemesi İç Yüzey Sıcaklık Değerleri

Şekil 4.9'dan da görüleceği gibi örtü iç yüzey sıcaklık değerleri dış sıcaklık değerlerine yakın seyretmiştir. Serada hesaplanan çiğ noktası sıcaklıkları örtü iç yüzey sıcaklıklarından yüksek olduğundan gece saatlerinde örtü iç yüzeyinde yoğunlaşma ortaya çıkmaktadır. Bu durum serada nemin azalmasına olanak sağlarken, yoğunlaşma damlacıklarının bitkilerin üzerine damlama tehlikesi de yaratmaktadır.

Yapılan çalışmada serada gece saatlerinde ısı perdeleri açılmıştır. Belirtilen nedenle perde üzerindeki sıcaklık değerleri perde altındaki sıcaklık değerlerinden daha düşük seyretmiştir. Yapılan gözlemlerde perde yüzeyinde yoğunlaşmanın olmadığı belirlenmiştir.

Çizelge 4.1'de gece saatleri 19⁰⁰-06⁰⁰ arasındaki araştırmanın yapıldığı 2014-2015 yılında aylara bağlı dış ortamda ve serada ortaya çıkan ortalama, maksimum ve minimum sıcaklık değerleri verilmiştir. Seranın minimum sıcak değeri 11 °C 'den aşağıya inmemiştir. Ortalama sera sıcaklık değeri ise 15-16 °C arasında tutulmuştur.

Çizelge 4.1. Araştırmanın Yapıldığı 2014-2015 Yılında Aylara Bağlı Ortalama, Maksimum, Minimum Sıcaklık Değerleri

Aylar	Ort-Dış	Max-Dış	Min-Dış	Ort-Sera	Max-Sera	Min-Sera
Kasım	9,2	19,2	2,7	14,5	19	11,2
Aralık	9,3	17,8	0,3	15,4	18,7	11,6
Ocak	5	13,4	-4,3	15,8	18,5	12,1
Şubat	7,2	15,4	-2,2	15,8	19,5	11,6
Mart	9,2	19,1	1	16,3	23,5	12,6

4.2. Isı Gereksinimi Hesaplamaları

Seraya gönderilen ısı enerjisi (Φ_{cs}), seraya gönderilen ve seradan dönen su sıcaklığından ve su kütlesinden gidilerek Eşitlik 3.2 yardımı ile hesaplanmıştır. Hesaplamalar yapılan ölçümler sonucunda elde edilen değerlerden gidilerek, Excel'de makroyla oluşturulan program yardımı ile yapılmıştır. İki farklı gün için yapılan örnek Çizelge 4.2 ve 4.3'da verilmiştir. Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3'den de görüleceği gibi seraya iletilen ısı enerjisi su gidiş ve dönüş sıcaklığına bağlı olarak değişim göstermektedir. Düşük ısıtma borusu sıcaklığı (su gidiş = 33,8°C, su dönüş = 28,4°C) için hesaplanan ısı değeri 978.545 kCal/h (1,134 kWh) olurken (Çizelge 4.2), su giriş sıcaklığının 58°C olduğu koşullarda hesaplanan ısı enerjisi 1.224.000 kCal/h (1.423 kWh) olmaktadır (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.2. Düşük Su Sıcaklığı İçin Yapılan Hesaplama Örneği

Su Debisi Kuzey taraf	90	m ³ /h
Su Debisi Güney taraf	90	m ³ /h
Kazanda dolanan su miktarı	180	m ³ /h
Kazan verimi	63,0	%
Su gidiş sıcaklığı	33,8	°C
Su dönüş sıcaklığı	28,4	°C
Sera ısıtma borusu yüzeyi	4.447	m ²
Sera Polietilen 300 mikron çatı	23.925	m ²
Sera Polikarbon yan yüzey	3.375	m ²
Aktarılan ısı	978.545	kCal/h
Kömür ısı verimi	7000	kcal/kg
Anlık kömür tüketimi	221,9	kg/h

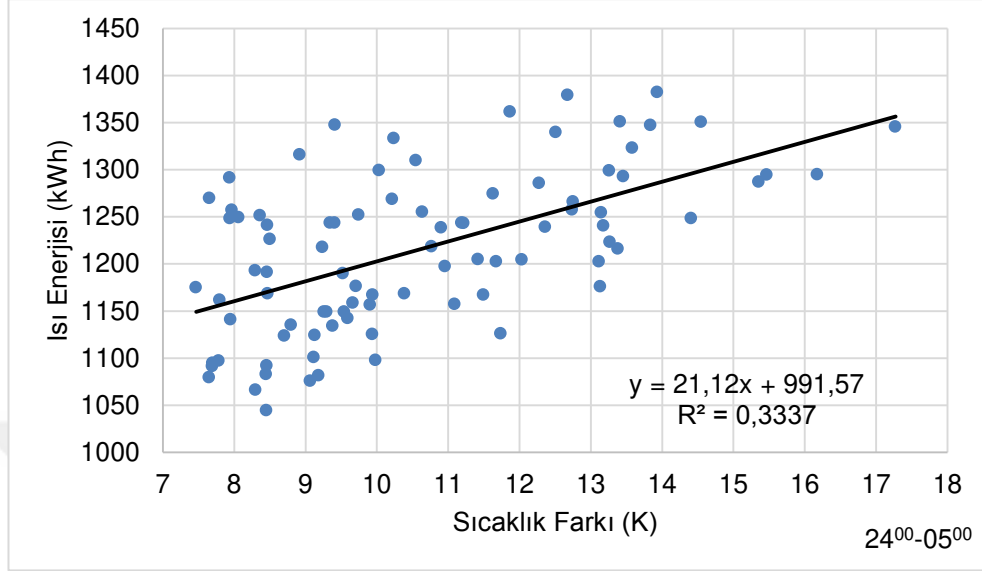
Çizelge 4.3. Yüksek Su Sıcaklığı İçin Yapılan Hesaplama Örneği

Su Debisi Kuzey taraf	90	m ³ /h
Su Debisi Güney taraf	90	m ³ /h
Kazanda dolanan su miktarı	180	m ³ /h
Kazan verimi	63,0	%
Su gidiş sıcaklığı	58,0	°C
Su dönüş sıcaklığı	51,2	°C
Sera ısıtma borusu yüzeyi	4.447	m ²
Sera Polietilen 300 mikron çatı	23.925	m ²
Sera Polikarbon yan yüzey	3.375	m ²
Aktarılan ısı	1.224.000	kCal/h
Kömür ısı verimi	7000	kcal/kg
Anlık kömür tüketimi	277,6	kg/h

Araştırmanın yapıldığı ısı perdeli plastik serada yılın farklı günlerinde yapılan ölçümler sonucunda elde edilen sıcaklık değerlerinden gidilerek hesaplanan ısı enerjisi değerleri hesaplanmıştır. Seraya gönderilen ısı enerjisi dış sıcaklık değerlerine göre değişim gösteren boru sıcaklıklarına bağlı olarak değişmektedir. Diğer bir ifade olarak seraya gönderilen ısı enerjisi su gidiş sıcaklığına ve dış sıcaklık değerlerine bağlı olarak değişmektedir.

Serada tüketilen kömür miktarının belirlenmesi aynı program yardımı ile hesaplanabilmektedir. Serada tüketilen kömür miktarı kullanılan kömürün ısı değerine ve kazan randımanına bağlı olarak hesaplanabilmektedir. Araştırma sırasında kullanılan ısıtma kazanının randımanı % 63 olarak alınmıştır.

Sera ve dış sıcaklık farkına bağlı olarak üretim periyodu boyunca seraya gönderilen ısı enerjisi değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.10'da verilmiştir.



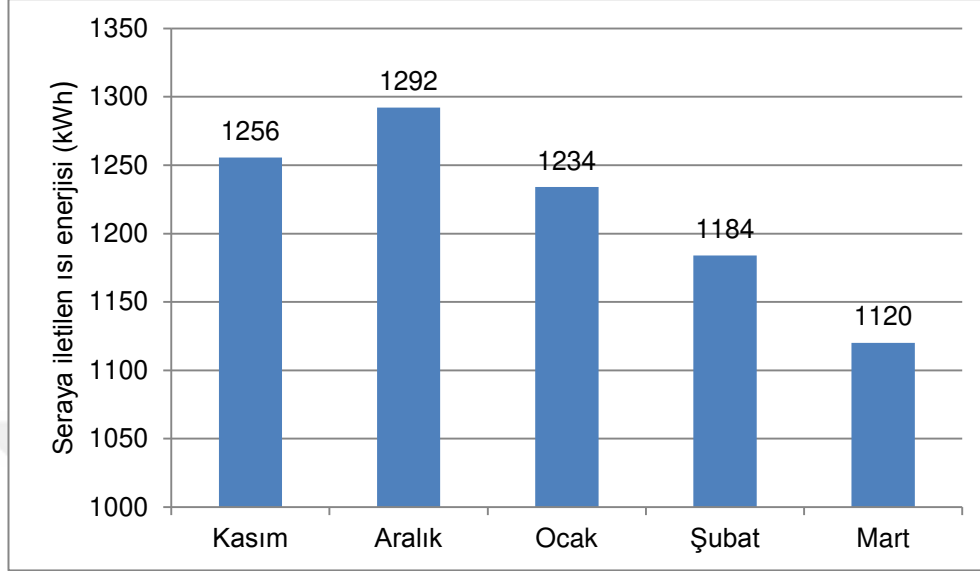
Şekil 4.10. 2014-2015 Yıllarındaki Kasım-Ocak Aylarının Ortalama Isı Gereksinimi ve Sıcaklık Farkı

Şekilden de görüleceği gibi ısı perdeli plastik serada iç dış sıcaklık farkı ile seraya gönderilen ısı enerjisi arasında artan doğrusal bir ilişki bulunmuştur. Yapılan regresyon analizi sonucunda sıcaklık farkı ile seraya gönderilen ısı enerjisi arasında Eşitlik 4.1 belirlenmiştir. Elde edilen eşitliğin R^2 değeri 0,3337'dir.

$$\Phi_{cs} = 21,12 \Delta\theta + 991,57 \quad [4.1]$$

Şekil 4.10' da görüldüğü gibi sıcaklık farkına göre hesaplanan ısı enerji değerlerinde sapmalar görülmektedir. Bunun nedeni ısı perdesinin kapatılma durumu, gökyüzü koşulları, örtü iç yüzeyinde ortaya çıkan yoğunlaşma ve özellikle rüzgarın etkisidir.

Isıtmanın yapıldığı farklı aylarda seraya gönderilen ısı enerjisi değerlerinin ortalaması Şekil 4.11'de verilmiştir. Şekilden görüleceği gibi en fazla ısı enerjisi Aralık ayında seraya gönderilmiştir.

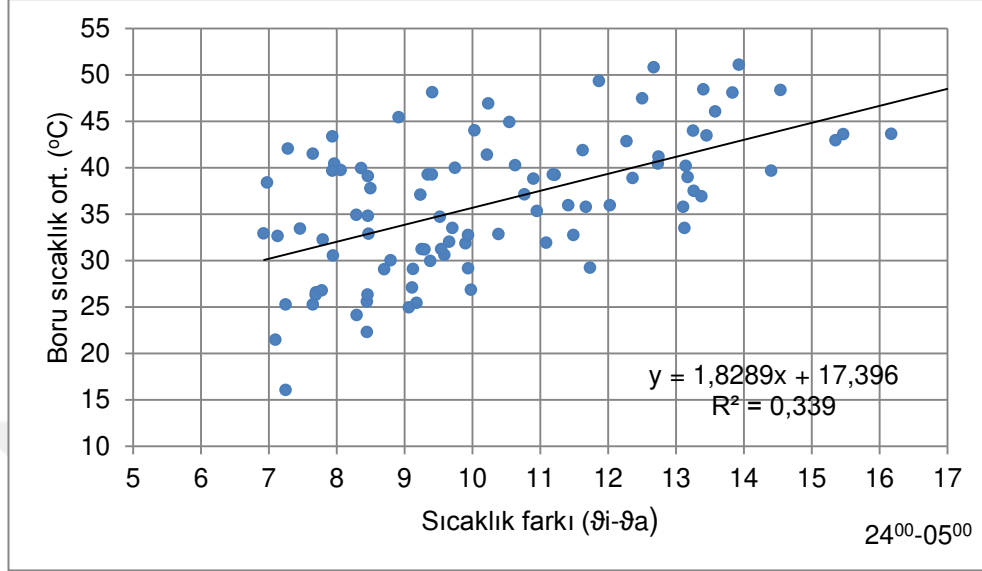


Şekil 4.11. Araştırmanın Yapıldığı Isı Perdeli Plastik Serada Farklı Aylarda Seraya Gönderilen Isı Enerjisi Ortalamaları

Önder (1999b), Antakya yöresindeki Plastik seralarda farklı gündüz ve gece sıcaklıklarına bağlı olarak ısı gereksinimleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. iç sıcaklığın 10° ile 20°C arasında tutulması durumunda plastik serada yıllık ısı enerjisi gereksinimi 12.63 ile 179.19 KWh.m⁻² yıl⁻¹ arasında hesaplanmışken gündüz sıcaklığının 18°C, gece sıcaklığının 16°C olması durumunda gereksinilen yıllık ısı enerjisi miktarı yaklaşık 103 KWh.m⁻² yıl⁻¹ olarak belirlemiştir.

Sera ve dış sıcaklık farkına bağlı olarak serada ısıtma borularının gidiş ve dönüş sıcaklık ortalamaları arasındaki ilişki Şekil 4.12'de verilmiştir. Şekil 4.12'den görüleceği gibi sıcaklık farkı arttıkça ortalama boru sıcaklık değerleri de yükselmektedir. Yapılan regresyon analizi sonucunda sıcaklık farkı ile ortalama boru sıcaklığı arasında aşağıdaki Eşitlik 4.2'den elde edilmiştir.

$$\vartheta_{Boru} = 1,8289 \Delta\vartheta + 17,396 \quad [4.2]$$



Şekil 4.12. 2014-2015 Yıllarındaki Ortalama Boru Sıcaklığı ve Sıcaklık Farkı

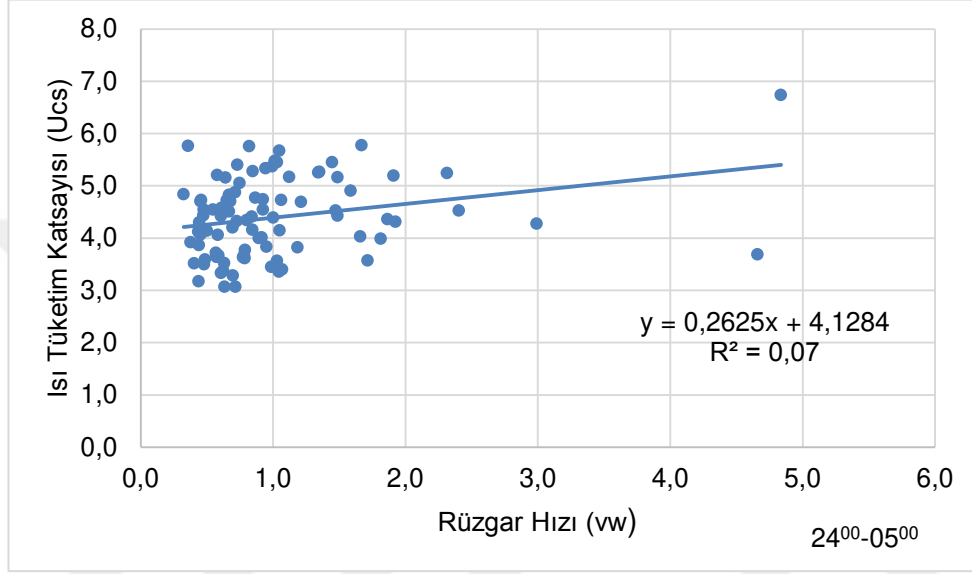
4.3. Isı Gereksinim katsayısının Hesaplanması

Serada ısı gereksinim katsayısının hesaplanmasında ısıtmanın yapıldığı 2014-2015 yılının Kasım-Mart dönemindeki ölçümler esas alınmıştır. Hesaplamalarda serada gün boyu depolanan güneş enerjisinin gece saatlerindeki ısı tüketimine etkisinin ortadan kaldırılması için saat 24.⁰⁰-05.⁰⁰ arasındaki ölçüm değerlerinin ortalamaları esas alınmıştır. Hesaplamalarda ayrıca iç dış sıcaklık farkının 7,5°C'den daha düşük olduğu günler dikkate alınmamıştır.

Isı gereksinim katsayısı seraya gönderilen ısı enerjisi ve serada ortaya çıkan iç-dış sıcaklık farkına bağlı olarak materyal ve metotta verilen Eşitlik 3.1 yardımı ile hesaplanmıştır. Isı perdeli araştırma serasında farklı günlere ait hesaplanan ısı tüketim katsayıları ekler bölümünde verilmiştir. Isı tüketim katsayıları dış iklim koşullarına bağlı olarak değişim göstermektedir.

Isı gereksinim katsayısı ısı perdelerinin kullanılmadığı tek kat örtü malzemesi ile kaplı seralarda dış iklim koşullarından özellikle rüzgâr hızından fazlaca etkilenmektedir. Ancak ısı perdelerinin kullanıldığı seralarda ısı gereksinim

katsayısı ile rüzgâr hızı arasında anlamlı bir ilişki elde edilememektedir (Tantau, 2012). Araştırmanın yapıldığı ısı perdeli plastik serada hesaplanan ısı tüketim katsayıları ile rüzgar hızı arasındaki ilişki Şekil 4.13’de verilmiştir.



Şekil 4.13. Isı Gereksinim Katsayıları İle Rüzgâr Hızı Arasındaki İlişki

Şekil 4.13’ den de görüleceği gibi Adana koşullarında gece saatlerinde ortaya çıkan rüzgar şiddeti 0,4 - 2,0 m/s arasında değişmektedir. Çok ender günlerde rüzgâr hızı 2 m/s'nin üzerine çıkmaktadır. Araştırmanın yapıldığı kasım - mart döneminde sadece 2 günde rüzgar hızı 3 m/s'nin üzerinde seyretmiştir. Şekil 4.13'de iç dış sıcaklık farkının 7,5°C'den büyük olduğu tüm günler dikkate alınarak yapılan regresyon analizinde ısı gereksinim katsayısı ve rüzgar hızı arasındaki ilişki Eşitlik 4.3 ile elde edilmiştir.

$$U_{cs} = 0,2625 * v_w + 4,1284 \quad [4.3]$$

Eşitlikte;

U_{cs} : Isı gereksinim katsayısı ($W.m^{-2}K^{-1}$)

v_w : Rüzgar hızı (m/s)

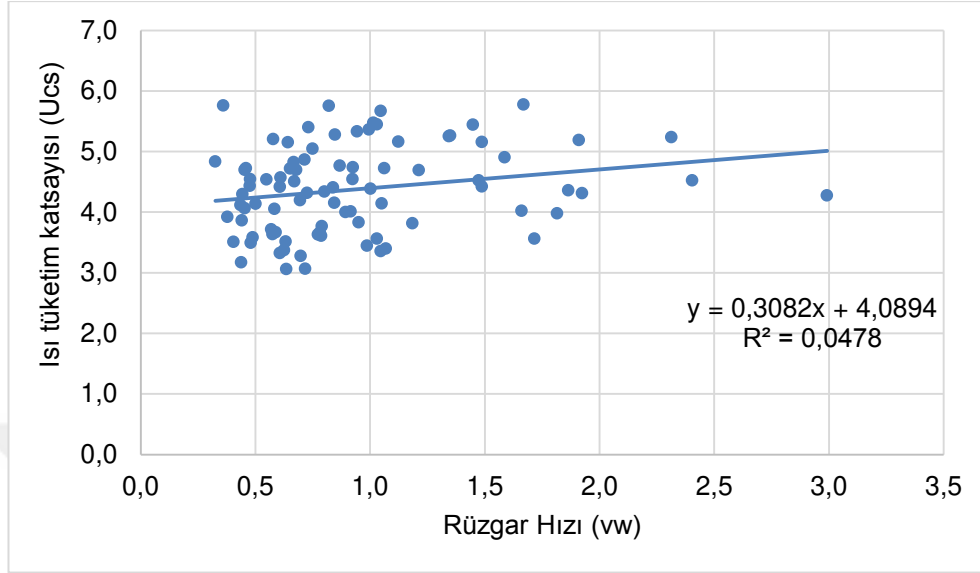
Eşitlik 4.3'te 4,1284 örtü malzemesinden transmisyonla ortaya çıkan ısı kayıplarını ifade ederken, 0,2625 katsayısı rüzgar hızına bağlı olarak örtü yüzeyindeki istenmeyen açıklıklardan ortaya çıkan ısı kayıplarını ifade etmektedir.

Şekil 4.13'den de görüldüğü gibi üretim periyodu boyunca yapılan ölçümlerde gece 24:⁰⁰-05:⁰⁰ arasındaki yapılan değerlendirmelerde rüzgar hızı sadece iki farklı günde 4 m/s değerinden yüksek ölçülebilmektedir. 4 m/s ve üzerinde fazla değer elde edilemediğinden rüzgar hızının yüksek olduğu iki güne ait ısı gereksinim katsayıları dikkate alınmadığında (Şekil 4.14) yapılan regresyon analizinde Eşitlik 4.4 elde edilmiştir.

$$U_{cs} = 0,3082 * v_w + 4,0894 \quad [4.4]$$

Yüksek rüzgar hızının dikkate alındığı koşullarda örtü malzemesinin ısı geçirgenlik katsayısında büyük bir değişim olmazken, rüzgar hızının ısı kayıplarına olan etkisi artmaktadır. Eşitlik 4.3'e göre 4 m/s rüzgar hızında ısı gereksinim katsayısı $5,2 W.m^{-2}K^{-1}$ olurken, Eşitlik 4.4'e göre hesaplanan ısı gereksinim katsayısı $5,3 W.m^{-2}K^{-1}$ olmaktadır. Yapılan her iki değerlendirmeden görüleceği gibi ortalama 4 m/s rüzgar hızında ısı perdeli sera için hesaplanan ısı gereksinim katsayıları arasında önemli bir fark elde edilememiştir.

2014-15 üretim yılında ısıtmanın yapıldığı aylarda Saat 24:⁰⁰-05:⁰⁰ arasındaki ölçüm değerlerinden hesaplanmış ısı tüketim katsayıları ile rüzgar hızının arasındaki ilişkiler Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'de verilmiştir.



Şekil 4.14. Isı Gereksinim Katsayıları İle Rüzgar Hızı Arasındaki İlişki

Adana iklim koşullarında ısı perdeli üretici serasında yapılan ölçümlerden hesaplanan ısı tüketim katsayılarında ciddi anlamda sapmaların ortaya çıktığı görülmüştür (Şekil 4.13 ile Şekil 4.14). Bunun da nedeni ısı gereksinim katsayısının sera donanımı yanında özellikle gökyüzü koşullarına ve rüzgâr hızına bağlı olarak değişim göstermesinden kaynaklanmaktadır. Tek kat örtü malzemesi ile kaplı seralarda rüzgâr hızının ısı gereksinim katsayısına etkisi oldukça büyüktür. Diğer bir ifade ile ısı gereksinim katsayısı ile rüzgâr hızı arasında artan anlamlı bir ilişki bulunmaktadır. Serada ısı perdesinin kullanılması durumunda yalıtımdan dolayı rüzgâr hızının ısı gereksinim katsayısına etkisi azalmaktadır.

Farklı araştırmacılar farklı özelliklere sahip seralarda yaptıkları çalışmalar sonucunda ısı gereksinim katsayısı ile rüzgar hızı arasında aşağıdaki istatistiksel eşitlikleri elde etmişlerdir.(Çizelge 4.4)

Çizelge 4.4. Araştırmacıların Rüzgar Hızı ile Isı Gereksinim Katsayısı Arasındaki Eşitlikleri

Bailey (1977)	$U_{cs} = 2,94 + 0,03 v_w$
Mihara ve Hayashi (1979)	$U_{cs} = 3,15 + 0,14 v_w$
Yağcıoğlu (2009)	$v_w < 4 \text{ m/s } U_{cs} = 2,8 + 1,2 v_w$ $v_w > 4 \text{ m/s } U_{cs} = 17,9 * u_w^{0,576}$
Damrath (1982)	$U_{cs} = 3,97 + 0,16 v_w$
Connelan ve ark (1988)	$U_{cs} = 2,99 + 0,13 v_w$
von Zabeltitz (1986).	Tek katlı cam sera $U_{cs} = 0,35 * v_w + 6,16$ Çift katlı cam sera $U_{cs} = 0,30 * v_w + 3,7$
Çaylı (2014)	$U_{cs} = 5,41 + 0,23 v_w$

Farklı araştırmacılar tarafında yapılan çalışmalar sonucunda ısı perdesiz PE seralarda 4 m/s rüzgar hızında elde edilen ısı gereksinim katsayıları aşağıdaki Çizelge 4.5’de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Farklı Araştırmacılar Tarafından ısı perdesiz PE Seralar İçin Elde Edilmiş Isı Gereksinim Katsayıları

Araştırmacı	Yıl	Isı gereksinim katsayısı (U_{cs}) ($\text{W.m}^{-2}\text{K}^{-1}$)
Weimann	1984	6,6
Schockert	1984	5,73
Tantau	1977	7,4
Bailey	1988	6,0-8,0

Gökyüzü koşulları ısı gereksinim katsayısına etki etmektedir. Nijskens ve ark (1984) tek kat PE kaplı serada gökyüzünün açık olduğu koşullarda ısı gereksinim katsayısının $9.0 \text{ W.m}^{-2}\text{K}^{-1}$, bulutlu gökyüzü koşullarında ise $7.2 \text{ W.m}^{-2}\text{K}^{-1}$ olarak belirlemişlerdir.

Baytorun ve ark (1995) serada kurulan ısıtma sistemine bağlı olarak toplam ısı gereksinim katsayısının değiştiğini ve tek kat PE kaplı serada bu değerin $6,5-9,5 \text{ W.m}^{-2}\text{K}^{-1}$ arasında değiştiğini bulmuştur.

Cemek (2002) yaptığı araştırma sonucunda tek kat PE plastikte örtülü serada ısı gereksinim katsayısını $8,51 \text{ W.m}^{-2}\text{K}^{-1}$ olarak bulmuştur.

ASAE (1995) göre ısı gereksinim katsayısının hesaplamalarda $6.2 \text{ W.m}^{-2}\text{K}^{-1}$ olarak kullanılması gerektiği bildirmiştir.

Çaylı (2014) ısı perdesi kullanılmayan tek kat PE serada 4 m/s rüzgâr hızı için toplam ısı gereksinim katsayısı $7,67 \text{ W.m}^{-2}\text{K}^{-1}$ olarak bulmuştur. Aynı araştırmacı tek kat PE plastik kaplı aynı serada ısı perdesi kullanılması durumunda ise 4 m/s rüzgâr hızında toplam ısı gereksinim katsayısını $6,33 \text{ W.m}^{-2}\text{K}^{-1}$ olarak belirlemiştir.

Yukarıda farklı araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen ısı tüketim katsayıları arasında farklılıkların ortaya çıktığı görülmektedir. Bunun da nedeni daha öncede açıklandığı gibi seranın tipi, dış iklim koşulları, sera donanımı ve yetiştirilen bitki çeşidinin farklı olmasından dolayı kaynaklanmaktadır.

Yapılan çalışmada üretici koşullarındaki ısı perdeli modern serada ısı gereksinim katsayısının rüzgâr hızına bağlı olarak değişimi incelenmiş ve yapılan regresyon analizinde tüm ölçüm değerlerinin dikkate alındığı koşullarda Eşitlik 4.3 elde edilmiştir.

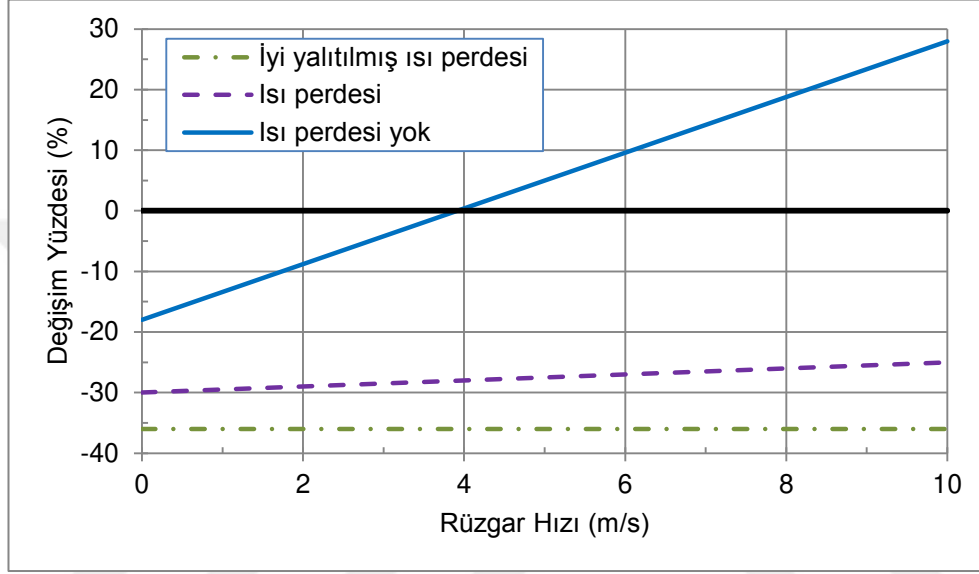
$$U_{cs} = 0,2625 * v_w + 4,1284 \quad [4.3]$$

Ancak daha öncede ifade edildiği gibi Adana koşullarında gece saatlerinde yüksek rüzgâr hızında sadece iki ölçüm yapılabildiğinden bu değerler dışarıda tutularak yapılan regresyon analizinde Eşitlik 4.4 elde edilmiştir.

$$U_{cs} = 0,3082 * v_w + 4,0894 \quad [4.4]$$

Yapılan çalışmada ısı perdeli plastik serada 4 m/s rüzgâr hızında elde edilen ısı gereksinim katsayısı $5,2 \text{ W.m}^{-2}\text{K}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Bu değer diğer araştırmacılar tarafından hesaplanan değerlere göre farklılıklar göstermektedir. Ortaya çıkan bu farklılık daha öncede ifade edildiği gibi sera yapısına, donanımına, yetiştirilen bitki çeşidine ve dış iklim koşullarına bağlıdır.

Seralarda ısı perdesinin kullanılmaması durumunda rüzgar hızının ısı gereksinim katsayısına etkisi artmaktadır. Serada ısı perdesinin kullanılması durumunda rüzgar hızının ısı gereksinim katsayısına etkisi azalmaktadır.



Şekil 4.15. Isı Enerjisi Gereksiniminin Oransal Değişimi

Tantau (2012) düşük ısı gereksinimi gösteren seralarda (cam) yaptığı araştırmalarda sera yalıtımının artması durumunda rüzgârın (4 m/s) ısı gereksinim katsayısı üzerindeki etkisinin yok denecek kadar azaldığını belirlemiştir. Rüzgârın ısı gereksinim katsayısına (U_{cs}) etkisi sera donanımına bağlı olarak Şekil 4.15'de verildiği gibi ifade edilmektedir (Tantau, 2008). Şekil 4.15'den de görüldüğü gibi ısı perdesinin kullanılmadığı tek kat camla örtülmüş serada ısı gereksinim katsayısı ile rüzgâr hızı arasında anlamlı bir ilişki bulunmaktadır. Ancak iyi yalıtılmış ve sıkı kapatılmış ısı perdeli seralarda ısı gereksinim katsayısı (U_{cs}) hemen hemen rüzgâr hızına bağımlı değildir. Literatürde ısı gereksinim katsayısı 4 m/s rüzgâr hızı için verilmektedir.

Şekil 4.15’den de görüleceği gibi rüzgâr hızı tek kat örtü malzemesi ile örtülmüş ısı perdesiz seralarda ısı kayıpları üzerinde önemli etkiye sahiptir. Rüzgâr örtü yüzeyinden oluşan ısı kayıplarının artmasına neden olmaktadır. Rüzgârın ısı gereksinim katsayısına etkisi Eşitlik 2.25 ile ifade edilmektedir.

$$U_{cs} = U_T + v_w * b \text{ (W.m}^{-2}\text{K}^{-1}\text{)} \quad [2.25]$$

Eşitlikte;

U_{cs} : Isı gereksinim katsayısı (W.m⁻²K⁻¹)

U_T : Isı geçirgenlik katsayısı (eksen kesim noktası) (W.m⁻²K⁻¹)

v_w : Rüzgâr hızı (m/s¹)

b : Doğru eğimi (J.m⁻³K⁻¹)

Eşitlik 2.25’de U_T örtü malzemesinin özelliğine bağlı olarak transmisyonla ortaya çıkan ısı kayıplarını ifade ederken, $v_w * b$ rüzgârın ısı gereksinim katsayısına etkisini ifade etmektedir. İyi yalıtılmış seralarda b katsayısı oldukça küçük bir değer olarak ortaya çıkmaktadır.

Yapılan çalışmada üretici koşullarında yapılan ölçümler sonucunda örtü malzemesine bağlı olarak elde edilen ısı iletim katsayısının kontrolü amacıyla, Tantau (2013) tarafından geliştirilen basit bir modelle sera donanımına bağlı örtü malzemesinin ısı iletim katsayısı hesaplanmıştır. Kullanılan modele göre yapılan hesaplamada PE plastik kaplı seralarda farklı iç yüzey ısı iletimlerine bağlı olarak hesaplanan ısı iletim katsayıları Çizelge 4.6’da verilmiştir. Çizelge 4.6’dan görüleceği gibi tek kat plastik kaplı ısı perdesiz PE plastik serada üretimin yapılmadığı koşullarda ısı iletim katsayısı 7,0 W.m⁻²K⁻¹ olarak belirlenirken, serada büyük yaprak alan indeksi (LAI) değerlerine sahip domatesin yetiştirilmesi durumunda bu değer 11,5 W.m⁻²K⁻¹ yükselmektedir.

Isı perdeli tek kat plastikle kaplı serada domates üretiminin yapıldığı koşullarda örtü iç yüzeyindeki latent ısı iletimine bağlı olarak teorik olarak hesaplanan ısı iletim katsayısı 3,95 - 4,43 $\text{W.m}^{-2}\text{K}^{-1}$ arasında değişim göstermektedir. Teorik olarak yapılan bu hesaplamalarda rüzgar etkisi ile ortaya çıkan ısı kayıpları dikkate alınmamıştır. Belirtilen nedenle teorik olarak hesaplanan bu değerler örtü malzemesinden transmisyonla ortaya çıkan ısı kayıpları olarak kabul edilmektedir. Yapılan ölçümlere göre örtü malzemesinin ısı geçirgenlik katsayısı 4,09 - 4,13 $\text{W.m}^{-2}\text{K}^{-1}$ arasında değişirken, teorik olarak hesaplanan ısı geçirgenlik katsayıları 3,95 - 4,43 $\text{W.m}^{-2}\text{K}^{-1}$ arasında bulunmuştur (Çizelge 4.6). Belirtilen nedenle araştırma ile elde edilen ısı geçirgenlik katsayıları Tantau tarafından belirlenmiş sınırlar aralığındadır.

Çizelge 4.6. Sera İç Yüzey Isı İletimine Bağlı Hesaplanmış Isı Gereksinim Katsayıları

$R_e = 0,04 \text{ m}^2\text{K.W}^{-1}$	$h_i=9$	R_λ	$h_i=12$	$h_i=15$	$h_i=18$
$R_i \text{ m}^2 \text{K.W}^{-1}$	0,11111		0,08333	0,06666	0,05555
	U		U	U	U
Plastik örtü malzemeleri	$\text{W.m}^{-2}\text{K}^{-1}$	$\text{m}^2\text{K.W}^{-1}$	$\text{W.m}^{-2}\text{K}^{-1}$	$\text{W.m}^{-2}\text{K}^{-1}$	$\text{W.m}^{-2}\text{K}^{-1}$
Tek kat PE UV katkılı	7,0	-0,01	8,7	10,2	11,5
PE Plastik + Enerji perdesi	3,54	0,14	3,95	4,23	4,43



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Seralarda ısıtma verim ve kaliteyi yükseltirken, ısıtma giderleri üretim maliyetini ciddi anlamda etkilemektedir. Isıtma üretim maliyeti içinde önemli bir yere sahiptir. Akdeniz bölgesinde seralarda ısıtma giderleri üretim maliyetinin % 20'sini oluştururken, soğuk iklim bölgelerinde bu değer % 50'lere kadar yükselebilmektedir.

Seralarda ısıtma sistemlerinin projelenmesinde, sera işletmelerinin kurulmasında yapılacak fizibilite çalışmalarında ısı tüketiminin önceden belirlenmesi büyük bir önem taşımaktadır. Seralarda ısı enerjisi tüketiminin belirlenmesi için her şeyden önce saatlik değerlerden gidilerek yapılmalıdır. Aynı zamanda seralarda ısıtma sistemlerinin projelenmesinde gerekli olan maksimum ısı gücünün hesaplanması zorunludur. Seralarda gerekli ısı gücü ve ısı gereksiniminin sağlıklı olarak belirlenebilmesi için ısı gereksinim katsayısının üretici koşullarında belirlenmesini gerektirmektedir.

Isı gereksinim katsayısı değişik etmenlere bağlıdır. Isı gereksinim katsayısı her şeyden önce sera tipine, örtü malzemesine, sera yalıtımına, sera donanımına, serada üretilen bitki çeşidine ve dış iklim koşullarına özellikle rüzgâr hızı ve gökyüzü koşullarına bağlıdır.

Literatürde farklı örtü malzemelerinin ısı iletim katsayıları (U) örtü malzemesinin özelliğine göre laboratuvar koşullarında 4 m/s rüzgâr hızı için belirlenmektedir. Bu değerler normal koşullarda üretimin yapılmadığı sera koşullarında ısı gereksiniminin hesaplanmasında kullanılabilir. Ancak serada farklı yaprak alan indeksine (LAI) sahip bitkilerin yetiştirilmesi durumunda bu değerlerin kullanılması hatalı sonuçların elde edilmesine neden olmaktadır. Seradaki bitkilerin transpirasyonu sonucu ortama verilen su duyulur ısının önemli bir miktarını gizli ısı olarak nemli havada tutar. Bu durum serada ısı gereksiniminin yükselmesine neden olmaktadır. 1 kg suyun buharlaşması için 2500 kJ enerjiye ihtiyaç vardır.

Nemli hava kuru havaya oranla daha hafif olduğundan sera içinde yükselerek çatı bölgesine taşınmaktadır. Çatı örtü malzemesinin sıcaklığı çiğ noktası sıcaklığına ulaştığından nemli hava örtü iç yüzeyinde yoğunlaşarak bünyesindeki gizli ısı duyulur ısı halinde serbest kalmakta ve dolayısı ile örtü malzemesi aracılığıyla dış ortama taşınmaktadır. Bu durum seradaki hava neminin azalmasına neden olurken anlamlı oranda duyulur ısının dışarı taşınmasına dolayısı ile seranın ısı gereksinim artmasına neden olmaktadır. Örtü iç yüzeyinde yoğunlaşan su buharından serbest kalan gizli ısı örtü yüzeyinden dış ortama taşındığından ısı gereksinim katsayısı ciddi oranda artmaktadır.

Seralarda gece saatlerinde kullanılan ısı perdeleri ısı enerjisinin korunmasına yardım ederler. Isı perdelerinin yan duvar ve cephelerdeki geçirgenlikleri ısı kayıplarına önemli derecede etki etmektedir. Isı perdesi üreten firmaların kataloglarda verdikleri ısı tasarruf oranları ideal koşullarda elde edilmiş değerler olup bu değerlere uygulama alanında ulaşılması mümkün olmamaktadır.

Belirtilen tüm bu nedenlerden dolayı seralarda ısı gereksinim katsayısının uygulamada üretici koşullarında belirlenmesi bu sera tipleri için yapılacak ısı gereksinimi hesaplamalarının doğruluğu açısından büyük öneme sahiptir.

Yapılan çalışmada Türkiye'de son yıllarda kurulan yüksek donanımına sahip PE plastik serada domates üretiminin yapıldığı koşullarda ısı gereksinim katsayısının belirlenmesi amaçlanmıştır. Isı gereksinim katsayısının hesaplanmasında seraya giden, dönen su sıcaklığından ve su kütlesinden yararlanılmıştır. Yapılan ölçümler ve gözlemler sonucunda iç-dış sıcaklık farkının 7,5°C'den düşük olduğu ölçüm değerleri hesaplamalarda dikkate alınmamıştır.

Rüzgâr hızı ısı gereksinim katsayısına etki eden önemli iklim parametrelerinden bir tanesidir. Seralarda artan rüzgâr hızına bağlı olarak ısı gereksinim katsayısı artmaktadır. Bu konuda yapılmış araştırmalarda yalıtımı kötü olan seralarda rüzgârın ısı gereksinim katsayısına etkisi büyüktür. Ancak son yıllarda çok katlı örtü malzemesi ile yalıtılmış seralarda veya ısı perdelerinin

kullanıldığı seralarda rüzgar hızının ısı gereksinim katsayısı üzerindeki etkisi azalmıştır. Seranın yalıtımı arttıkça rüzgarın ısı tüketimine etkisi azalmaktadır.

Yapılan çalışmada seradaki 51 mm çapındaki ısıtma borularında sıcaklık değişimlerinin tepkimesi geciktiğinden saatlik değerler yerine gece saat 24:⁰⁰ - 05:⁰⁰ arasındaki değerlerin ortalaması alınarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Belirtilen saatler arasında rüzgâr hızlarının ortalaması alındığından üretim periyodu boyunca elde edilen ortalama rüzgâr hızları 3 m/s'den daha düşük bulunmuştur. Sadece iki ölçüm gününde rüzgâr hızı 3 m/s'den daha yüksek ölçülebilmiştir. Belirtilen nedenle yüksek rüzgâr hızının ısı gereksinim katsayısına etkisinin belirlenmesi zorlaşmıştır.

Yapılan ölçümler sonucunda tüm ölçüm değerlerinin dikkate alındığı koşullara göre yapılan hesaplamalar sonucunda rüzgar hızı ile ısı gereksinim katsayısı arasında regresyon Eşitliği 4.3 elde edilmiştir.

$$U_{cs} = 0,2625 * v_w + 4,1284 \quad [4.3]$$

Yüksek rüzgar hızının ortaya çıktığı iki ekstrem gün değerlendirmeler dışında bırakıldığında rüzgar hızı ile ısı gereksinim katsayısı arasında Eşitlik 4.4 elde edilmiştir.

$$U_{cs} = 0,3082 * v_w + 4,0894 \quad [4.4]$$

Yüksek rüzgâr hızına sahip iki gün değerlendirme dışında bırakıldığında rüzgarın ısı gereksinim katsayısına etkisi artmakta, örtü malzemesinden transmisyonla olan ısı iletimi azalmaktadır. Ancak her iki değerlendirme arasındaki fark büyük değildir. Rüzgâr hızının 4 m/s olduğu koşullarda ısı gereksinim katsayısı 5,2 W.m⁻²K⁻¹'den 5,3 W.m⁻²K⁻¹'e yükselmektedir.

Yapılan ölçümler sonucunda elde edilen değerlerin teorik olarak basit bir modelle hesaplanan ısı iletim katsayısı ile karşılaştırılması için malzemelerde ortaya çıkan ısı iletim dirençlerinden gidilerek örtü malzemesinin farklı iç yüzey ısı iletim kondüktanslarına bağlı olarak ısı iletimleri hesaplanmış ve yapılan ölçümler sonucunda elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır. Kullanılan modele göre yapılan hesaplamada PE plastik kaplı seralarda farklı iç yüzey ısı iletimlerine bağlı olarak hesaplanan ısı iletim katsayıları elde edilmiştir (Çizelge 4.6). Elde edilen sonuçlara göre tek kat plastik kaplı ısı perdesiz PE plastik serada üretimin yapılmadığı koşullarda ısı iletim katsayısı $7,0 \text{ W.m}^{-2}\text{K}^{-1}$ olarak belirlenirken, serada büyük yaprak alan indeksi (LAI) değerlerine sahip domatesin yetiştirilmesi durumunda bu değer $11,5 \text{ W.m}^{-2}\text{K}^{-1}$ yükselmektedir.

Isı perdeli tek kat plastik kaplı serada domates üretiminin yapıldığı koşullarda örtü iç yüzeyindeki latent ısı iletimine bağlı olarak teorik olarak hesaplanan ısı iletim katsayısı $3,95 - 4,43 \text{ W.m}^{-2}\text{K}^{-1}$ arasında değişim göstermektedir. Teorik olarak yapılan bu hesaplamalarda rüzgâr etkisi ile ortaya çıkan ısı kayıpları dikkate alınmamıştır. Belirtilen nedenle teorik olarak hesaplanan bu değerler örtü malzemesinden transmisyonla ortaya çıkan ısı kayıpları olarak kabul edilmektedir. Yapılan ölçümlere göre örtü malzemesinden transmisyonla ortaya çıkan ısı geçirgenlik katsayısı $4,09 - 4,13 \text{ W.m}^{-2}\text{K}^{-1}$ arasında değişirken, teorik olarak hesaplanan ısı geçirgenlik katsayıları $3,95 - 4,43 \text{ W.m}^{-2}\text{K}^{-1}$ arasında bulunmuştur (Çizelge 4.5). Belirtilen nedenle örtü malzemesinden transmisyonla ortaya çıkan ısı iletiminin belirlenmesinde kullanılan teorik yöntemin uygulamada elde edilen sonuçlarla uyum gösterdiği görülmektedir.

Yapılan çalışma sonucunda seralarda ısı gereksinim katsayısının belirlenmesinde sera donanımı ve dış iklim koşulları yanında serada yetiştirilen bitki çeşidinin de ele alınması gerektiği belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Abak, K., Başçetinçelik, Baytorun, A, N., Altuntaş, Öztürk, H.H., 1994. Influence Of Double Plastic Cover And Thermal Screens On Greenhouse Temperature, Yield and Quality of Tomato. Acta Hort. (ISHS) 366:149-154.
- Anonim, 2015a. DOĞAKA, URL (Erişim Tarihi:05.07.2016) http://www.dogaka.gov.tr/Icerik/Dosya/www.dogaka.gov.tr_622_LK5L43WG_Seracilik-ortualti-Bitki-Yetistiriciligi-Sektor-Raporu-2015.pdf
- Anomin, 2013. TOBB, URL (Erişim tarihi:08.07.2016) https://www.tobb.org.tr/Documents/yayinlar/2014/turkiye_tarim_meclisi_sektor_raporu_2013_int.pdf
- Anomin, 2015b. TÜSSİDE, URL (Erişim tarihi:11.08.2016) <https://www.tarim.gov.tr/BUGEM/jeotermalseracilik/Belgeler/Proje%20Sonu%C3%A7%20Raporu.pdf>
- ASAE, 1995.Heating Ventilating and Cooling Greenhouses. ASAE EP406.4 JAN03, American Society of Agricultural Engineers. St. Joseph, MI 49085.
- ASAE, 1981. Engineering Practice. ASAE EP 406. Agricultural Engineers Yearbook.
- Bailey, B.J., 1977. Thermal Screens For Reducing Heat Losses From Glasshouses. Commission of The European Communities. Technical And Physical Aspects Of Energy Saving In Greenhouses.
- Bailey, B.J., 1988. The Reduction of Thermal Radiation In Glasshouses By Thermal Screens. Journal Of Agricultural Engineering Research, Volume 26, Issue 3, May 1981, s. 215-224, ISSN 0021-8634.
- Baytorun, A., N., Abak, K., Tokgöz, H., Altuntaş, Ö., 1994. Effect Of Different Greenhouse Covering Materials On Inside Climate And On The Development Of Tomato Plants. Acta Hort. (ISHS) 366:125-132.

- Baytorun, N., Abak, K., Tokgoz, H., Güler, Y., Üstün, S., 1995. Seraların Kışın İklimlendirilmesi ve Denetimi Üzerine Araştırmalar. TÜBİTAK Projeleri (TOAG), s. 98
- Baytorun, A.N., Topçu, S., Abak, K., Daşgan, Y., 1999. Growth and production of tomatoes in greenhouses at different temperature levels. *Gartenbauwissenschaft*, 64 (1). s 33-39. Verlag Eugen Ulmer GmbH & Co., Stuttgart
- Baytorun, N., 2000. Seralar. Çukurova Üniv. Zir. Fak. Yay. 29, Adana, 402s.
- Baytorun, A., N., Zaimoğlu, Z., Akyüz, A., 2000. Seralarda İklimlendirme. 2. Uluslararası Turfanda Şurası, Anamur.
- Baytorun, N.A., Abak, K., Daşgan, H.Y., Topçu, S., 1997. Climatic Problems of the Plastic Greenhouses in Turkey. CIPA Proceedings. International Congress for plastic in Agriculture.
- Baytorun, N., 2013. Seralarda Isı Enerjisi Gereksiniminin Belirlenmesinde Kullanılan Farklı Yöntemlerin Karşılaştırılması. Ç.Ü.Z.F. Dergisi, 2013, 28 (2): 21 – 32
- Baytorun, N.A., Zaimoğlu, Z., Üstün, S., 2012. Akdeniz Bölgesi Seralarında Isı Enerjisi Gereksiniminin ve Enerji Artırım Önlemlerinin Etkisinin Belirlenmesi. 2. Ulusal Sulama ve Tarımsal Yapılar Sempozyumu. Bornova, İzmir.
- Baytorun, N., 2016b. Seralar. Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara, 406s
- Baytorun, N., 2017. Jeotermal Bölgelerde Seracılık ve Avantajları. 1. Jeotermal Enerji Çalıştayı. Kırşehir 10. Mayıs. 2017
- Baytorun, N.A., Akyüz, A., Üstün, S., 2016a. Seralarda ısıtma sistemlerinin modellenmesi ve karar verme aşamasında bilimsel verilere dayalı uzman sistemin geliştirilmesi. TÜBİTAK Proje No: 1140533
- Bot, G., van de Braak, N., Challa, H., Hemming, S., Rieswijk, T.H., van Straten, G., Verlodt, I., 2005. The Solar Greenhouse: State Of The Art In Energy Saving And Sustainable Energy Supply. *Acta Hort. (ISHS)* 691:501-508.

- Castilla, N., Hernandez J., 2007. Greenhouse technological packages for high quality production. *Acta Hort.* 761:285–297.
- Cemek, B., 2002. Farklı Sera Örtü Malzemelerinin Bitki Büyüme, Gelişme, Verim ve Sera İçi Çevre Koşullarına Etkisi. Doktora Tezi, YÖK Ulusal Tez Merkezi, Tez No: 127259.
- Connellan, G.J., Maghsood, J., Charters, W., Angus, D.E., 1988. Solar Thermal Studies On The Burnley Low Energy Greenhouse. *Solar'88-ANZSES Conference*: 43-52..
- Çaylı, A., 2014. Plastik seralarda ısı iletim katsayısının belirlenmesi ve ısı artırım önlemlerinden ısı perdelerinin etkinliğinin araştırılması. KSÜ Fen Bilimleri Enstitüsü. Doktora tezi.
- Daka, K., Gül, A., Engindeniz, S., 2012. Muğla ilinde seralarda dışarıya yönelik domates üretimi ve pazarlaması. *Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg.*, 2012, 49 (2): 175-185.
- Damrath, J., Klein, F., 1983. Tabellen zur Heizenergieermittlung von Gewächshäusern in Klima Trier. *Gartenbau technische Informationen Heft 18*. Institut für Technik im Gartenbau der Universität Hannover.
- DIN 4701. 1983. Regeln für die Berechnung des Wärmebedarf von Gebäuden. Teil 1 und Teil 2.
- Elsner, B.v., Briassoulis, D., Waaijenberg, D., Mistriotis, A., Zabeltitz, Chr., von., Gratrad, J., Russo, G., Cortes, S., R. 2000. Review of Structural and Functional Characteristics of Greenhouses in European Union Countries: Part I, Design Requirements *J. Agric. Engng Res.* 75, 1-16
- Elsner, B., 2008. Wärmeverbrauchsmessungen Anforderungen an die Genauigkeit. Bericht zur Bestimmung und Bewertung des Energiebedarfs von Gewächshäusern. KTBL-Workshop 17. September 2008 in Worms
- Eser, D., 1986. Tarımsal Ekoloji. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi yayınları: 975, Ankara

- Geoola, F., Kashti, Y., Levi, A., Brickman, R., 2009. A Study Of The Overall Heat Transfer Coefficient Of Greenhouse Cladding Materials With Thermal Screens Using The Hot Box Method. Elsevier, Polymer Testing 28 (2009) 470–474.
- Hurd, G.R., Graves, C., J., 1985. Some Effect Of Air And Root Temperatures On The Yield And Quality Of Glasshouse Tomatoes. Journal Of Horticultural Science 60 (3), 359-371.
- Karaman, S., Yılmaz, İ., 2006. Cam serada domates yetiştiriciliğinde Bombus arısı kullanımının üretim girdileri ve karlılık üzerine etkisi. Anadolu, J. Of Aari 16(2) s 90-109. MARA
- Krug, H., 1991. Gemüseproduktion (Vegetable production). Parey, Berlin, Hamburg, Germany
- Leonardi, C. and S. De Pascale, 2010. Greenhouse production systems in Mediterranean area. 4th International Workshop "Agro space: Controlled Environment Agriculture from Earth to Space and back" Sperlonga.
- Mackroth, K., 1973. Untersuchungen zum Gewächshausklima unter besonderer Berücksichtigung der Kühlmöglichkeiten. Dissertation TU Hannover 1972 und KTBL-Schrift Nr. 167, 1973.
- Meyer, J., 2008. Nomenklatur und Definitionen Bericht zur Bestimmung und Bewertung des Energiebedarfs von Gewächshäusern. KTBL-Workshop 17. September 2008 in Worms. S.14-22.
- Mihara, Y., Hayashi, M., 1979. Overall Heat Transfer Coefficient Of Greenhouses With Single And Double Covering Using Several Material Curtains. Journal of Agricultural Meteorology 35: 13-19.
- Nisen, A., Grafiadellis, M., Jimenez, R., La Malfa, G., Martiez-Garcia, P.F., Monterio, A., Verlodt, H., Ville, O., Zabeltitz, C.v., Denis, J.C., Boudoin, W., Garnaud, J.C. 1988. Cultures protégées en climat Méditerranéen, FAO, Rome.

- Nijskens, J., Deltour, J., Nisen, A., Coutisse, S., 1984. Proprietes Radiometriques Et Thermiques Des Matehriaux Plastiques. Radiometric And Thermal Properties Of Plastic Materials. Acta Horticulturae, 154.
- Önder, D.,1999a. Hatay İli Samandağ İlçesindeki Seraların Teknik Yönden İncelenmesi. Mustafa Kemal Üniversitesi. Ziraat Fakültesi Dergisi. 4(1-2):89-100.Antakya.
- Önder, D.,1999b. Antakya Yöresindeki Plastik Seralarda Isı Gereksiniminin Belirlenmesi. Mustafa Kemal Üniversitesi. Ziraat Fakültesi Dergisi. 4(1-2):181-194
- Öneş, A., 1986. Sera Yapım Tekniği. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, No:970, Ankara.
- Öztürk, H., H., Başçetinçelik, A., 2003. Effect of thermal screens on the microclimate and overall heat loss coefficient in plastic tunnel greenhouse. Turkish Journal of Agriculture and Forestry 27 (3), 123–134.
- Öztürk, H., H., 2011. Antalya İklim Koşullarında Sera Isıtma Amacıyla Güneş Enerjisinin Duyulur Isı Olarak Depolanması İçin Tasarım Değişkenlerinin Belirlenmesi, İklim 2011 Ulusal İklimlendirme Kongresi, Antalya, Türkiye, 4-5 Aralık 2011, ss.209-224
- Öztürk, M.,2014. Şişirme Örtülü Sera Geliştirilmesi.Adnan Menderes Üniversitesi: Ziraat Fakültesi Yüksek Lisans Tezi.
- Papadakis, G., Briassoulis D., Scarascia Mugnozza G., Vox G., Feuilloy P., Stoffers J.A., 2000. Review Paper (SE—Structures and Environment): Radiometric and Thermal Properties of, and Testing Methods for Greenhouse Covering Materials. Journal of Agricultural Engineering Research, Volume 77, Issue 1.
- Pardossi, A.,Tognoni,F., Incrocci,L. 2004. Mediterranean Greenhouse Technology. Chronica Horticulturea vol.44 No 2. p 28-34.

- Rad, S., Yarşı, G., 2005. Silifke ilçesinde serada domates yetiştiren işletmelerin ekonomik performansları ve birim ürün maliyetleri. Tarım bilimleri dergisi 2005, 11 (1) 26-33.
- Rath, T., 1992. Einsatz wissensbasierter Systeme zur Modellierung und Darstellung von gartenbautechnischem Fachwissen am Beispiel des hybriden Expertensystems (HORTEX), Heft 34. Institut für Technik in Gartenbau und Landwirtschaft Universität Hannover.
- Rath, T. 1994. Einfluss der Wärmespeicherung auf die Berechnung des Heizenergiebedarfs von Gewächshäusern mithilfe des k'-Modells. Gartenbauwissenschaft 59 (1), s.39-44.
- Rath, T., Masemann, S. (2002). Dunkelstrahler im Praxistest-Ergebnisse technischer Untersuchungen. Das Taspo-Magazin 5, S. 25–28
- Rüther, M. 1985. Natural ventilation rate of closed greenhouses. Acta Horticulturae 170, 185-191.
- Santamouris, M., Balaras, C., A., Dascalaki, E., Vallindras, M., 1994. Passive Solar Agricultural Greenhouses: A Worldwide Classification And Evaluation Of Technologies And Systems Used For Heating Purposes, Solar Energy, Volume 53, Issue 5, November 1994, s. 411-426.
- Stanghellini, C., Kempkes, K., Knies, P., 2003. Enhancing environmental quality in agricultural systems. Acta Hort. 609: 277- 289.
- Schmidt, U. 2008. Das besondere Problem der Feuchte. Bericht zur Bestimmung und Bewertung des Energiebedarfs von Gewächshäusern. KTBL-Workshop 17. September 2008 in Worms
- Schockert, K., 1984. Gartenbautechnische Information ITG Hannover, Heft 21, 1984. Taspo Buchvertrieb Braunschweig
- Tantau, H., J., 1977. The Influence Of Single And Double Shelters On The Climate and Heat Consumption of Greenhouses. Acta Hort. (ISHS) 70:11-15
- Tantau, H., J., 1983. Heizungsanlagen in Gartenbau Verlag Eugen Ulmer Stuttgart

- Tantau, H.,J. 2008. Wärmeverbrauchsmessung – Einflussfaktoren. Bericht zur Bestimmung und Bewertung des Energiebedarfs von Gewächshäusern. KTBL-Workshop 17. September 2008 in Worms
- Tantau, H.J. 2012. Das Niedrigenergiegewächshaus – Methode zur Analyse der Wärmeströme und der PAR-Durchlässigkeit. Landtechnik 67 (3), S. 196–204
- Tantau, H., J., 2013. Heat Requirement Of Greenhouses Including Latent Heat Flux, Landtechnik, 68 (1), s.. 43-49.
- Topuz, H., 2007.Cumhuriyet Dönemi Ekonomisinde Tarımsal Yapının İncelenmesi (1923-1950). Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Y.2007, C.12, S.3 s.367-380.
- TÜİK. 2014.Tarım istatistikleri özeti. Türkiye İstatistik Kurumu.
- Tüzel Y., A. Gül, HY. Dasgan, M. Özgür, N. Çelik, HF. Boyacı ve A. Ersoy. 2005. Örtüaltı Yetiştiriciliğinde Gelişmeler, Türkiye Ziraat Mühendisliği VI. Teknik Kongresi, 3–7 Ocak 2005, Ankara, I. Cilt: 551–563.
- Üstün, S., 1993. Çukurova Bölgesinde Farklı Sera İçi İklim Koşullarında Isı Gereksiniminin Hesaplanması Üzerine Bir Araştırma. Ç:Ü: Ziraat Fakültesi Yüksek Lisans Tezi.
- Verlodt, H., 1990. In Protected Cultivation in The Mediterranean Climate. Greenhouses in Cyprus, FAO.
- Weimann, G., 1984. Energiesparende Maßnahmen in Foliengewächshäusern. Deutscher Gartenbau 38 (37), 1569-1571
- Wiltner, S., H., Teubner, F., G., 1956. Cold Exposure Of Tomate Seedings And Flower Formation. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. V. 67.
- Worley, J., 2005. Greenhouses Heating, Cooling And Ventilation. The University Of Georgia.
- Yağanoğlu, A.,V., Örüng, İ., 1997. Seracılıkta Son Gelişmeler ve Sera Tipleri. II. Seracılık Sempozyumu, 31 Mayıs-01 Haziran 1997, Kütahya.

- Yağcıoğlu, A. 1999. Sera Mekanizasyonu, E.Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları Ders Notları: 59/1 Bornova, İzmir.
- Yağcıoğlu, A., 2009. Sera Mekanizasyonu, Ege Ün. Ziraat Fakültesi Yayın No:562, Bornova, İzmir
- Yanzheng, L., Guanghui T., Chengwei M., Shirong L., 2007. The Thermal Measurement System. Computer And Computing Technologies In Agriculture, Volume II, The International Federation For Information Processing Volume 259, 2008, s. 1365-1369.
- Yüksel, A.N., 2000. Sera Yapım Tekniği. Hasad Yayıncılık Ltd. Şti. İstanbul.
- Zabeltitz, Chr. Von., 1986. Gewächshäuser. Verlag Eugen-Ulmer 1986.
- Zabeltitz, Chr. Von., 1988. Energy Conservation and Renewable Energies for Greenhouse Heating. Food and Agriculture Organization of The United Nations, Reur Technical Series 3, Roma, Italy.
- Zabeltitz, Chr. Von., 1992. Energy-Efficient Greenhouse Designs For Mediterranean Countries. Plasticulture, No.96-1992/4.
- Zabeltitz, Chr. Von., 1997. Umweltschonung und technischer Fortschritt Wiederspruch oder Notwendigkeit. Farewell lecture, University of Hannover, Gartenbautechnische Informationen.
- Zabeltitz, Chr. Von., 2000. Seralar. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Genel Yayın No :110. Der Kitapları yayın No:A-29. Adana. Çeviren A.Nafi Baytorun.
- Zabeltitz, Chr. Von., 2011. Integrated Greenhouse Systems For Mild Climates: Climate Conditions, Design, Construction, Maintenance, Climate Control, Springer Heidelberg Dordrecht London New York

ÖZGEÇMİŞ

1988 tarihinde Muş'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Adana'da tamamladı. 2007-2008 yıllarında Kuala Lumpur Üniversitesi'nde hazırlık eğitimi gördü. 2010 yılında başladığı Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölüm'den 2014 yılında mezun oldu. 2015 yılında yüksek lisans'a başladı.

