

## Sera Isıtma Sistemlerinde Isı Depolama Tank (Buffer) Kapasitesinin Belirlenmesi

A. Nafi BAYTORUN<sup>\*1</sup>, Sait ÜSTÜN<sup>2</sup>, Adil AKYÜZ<sup>2</sup>, Ali ÇAYLI<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Adana

<sup>2</sup>K. S. Ü., Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş

<sup>3</sup>K. S. Ü., Türkoğlu Meslek Yüksekokulu, Kahramanmaraş

Geliş Tarihi : 20.02.2017 Kabul Tarihi : 31.05.2017

### Öz

Seralarda maksimum ısı gücü gereksinimi sabahın erken saatlerinde ısı perdelerinin toplanmasından hemen sonra ortaya çıkmakta ve ısı gücü sıçramalarına bağlı olarak ısıtma sistemine büyük yük binmektedir. Bu durumun ortadan kaldırılması ve katı yakacak kazanlarına sahip ısıtma sistemlerinde kazan verimini yükseltmek amacıyla ısı depolama tankları (buffer) kullanılmaktadır. Isıtma sistemlerinin projelendirilmesinde kazan kapasitelerinin ve ısı depolama tankının boyutlandırılması için saatlik ısı gücü değerlerinin doğru hesaplanması zorunludur. Yapılan bu çalışmada Akdeniz bölgesinde seracılığın yoğun olarak yapıldığı Antalya ilinde kurulan modern plastik seralarda saatlik ısı gücünün ISIGER-SERA uzman sistemle hesaplanması ve ısıtma sisteminin projelendirilmesinde gerekli olan kazan ve ısı depolama tankı kapasitesinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Yapılan hesaplamalar sonucunda ısı depolama tankının büyütülmesi ile depolanan ısı enerjisi artarken, ısı depolama tankından yararlanma oranı azalmaktadır. Aynı şekilde ısıtma kazan gücünün yükseltilmesi kazanın ısı enerjisi karşılama yüzdesini artırırken, ısı depolama tankının etkenliğini azaltmaktadır. Yapılan hesaplamalara göre 10.560 m<sup>2</sup> büyüklüğündeki serada sıcaklığın gece/gündüz 16/18°C'de tutulmak istenmesi durumunda 500 kW gücünde katı yakacak kazanı ve 118 m<sup>3</sup> hacminde ısı depolama tankının yeterli olacağı belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Sera ısıtması, Enerji verimliliği, Buffer, Isı depolama, ISIGER-SERA

### Determination of Heat Storage Tank (buffer) Capacity in Greenhouse Heating Systems

#### Abstract

The maximum heating power requirement is needed as soon as the heating curtains are removed in early morning hours, and thus power load on the heating system increases. The heat-storage buffering tanks are used to overcome sudden increase of heating power requirement by way of increasing heating efficiency of solid-fueled heating systems. Good hourly heating power requirements are essential for calculating heating tank capacity and estimating the dimensions of the heat-storage tank in designing of greenhouse heating systems. The work under taken here was aimed at using a software called ISIGER-SERA to estimate hourly heat power requirement, and thereby to calculate heating and storage tank capacity of the modern plastic greenhouses in Antalya province, having extensive greenhouse cropping in the Mediterranean Region.

\*Sorumlu yazar (Corresponding author): A. Nafi BAYTORUN, baytorun@cu.edu.tr

The calculations showed that benefits of heat storage tank decreased although the stored heating energy increased when the capacity of heating tank increased, and thereby met higher portion of the required heating power of the greenhouse. The calculations further showed that a solid-fueled heating tank of 500 kW of power and 118 m<sup>3</sup> of volume was sufficient for maintaining day and night temperature of 16/18 C° in a greenhouse of 10.560 m<sup>2</sup>.

**Keywords:** Buffering, Energy use efficiency, Greenhouse heating, Heat storage, ISIGER-SERA

## 1. GİRİŞ

Seracılıkta ısıtma sistemleri standartlarda belirlenen esaslara, ekonomik koşullara ve teknik gelişmelere uyum göstermelidir. Isıtma sistemlerinin projelenmesinde fosil enerji kaynaklarının artan fiyatları ve CO<sub>2</sub> emisyonuna karşı toplumun duyarlılığı, sistemlerin seçimi ve projelenmesinde etkili olmaya başlamıştır. Seralarda kurulan ısıtma sistemlerinde enerji verimliliğinin artırılması büyük önem arz etmektedir. Avrupa birliği ülkelerinde 2013 yılından itibaren seralarda enerji verimliliğinin artırılması konusunda yasalar çıkarılmıştır.

Seralarda kurulacak ısıtma sisteminde ısı gücünün bölge iklimine ve kurulacak olan seranın donanımına bağlı olarak doğru hesaplanması, ısıtma sisteminde kullanılacak kazan, pompa ve ısı depolama tankının projelenmesi açısından büyük öneme sahiptir. Isıtma sistemlerinin projelenmesinde gerekli olan ısı gücünün hesaplanmasında, iklim ve sera donanımına ait parametrelerin tam olarak dikkate alınmaması ve emniyet açısından sistemin olması gerekenden çok daha büyük boyutlarda projelenmesi enerji verimliliğini düşürdüğü gibi, fazladan kullanılan fosil yakıtların çevreye olan olumsuz etkisini artırmaktadır.

Türkiye’de son yıllarda kurulan yüksek teknolojiye sahip modern seralarda düzenli ısıtma yapılmakta ve ısıtma sistemlerinde katı yakacak kazanları (kömür) kullanılmaktadır. Isıtma sistemlerinde kullanılan katı yakacak kazanlarında serada ihtiyaç duyulan ısı yüküne bağlı olarak yanma işleminin düzenlenmesi oldukça zordur. Ilıman iklimin hakim olduğu Akdeniz bölgesinde genellikle gece saatlerinde yapılan ısıtmalarda, katı yakacak kazanları stokerlerden sürekli olarak beslenerek sabah saatlerinde devre dışı kalmaktadırlar.

Ülkemizde kurulan modern seralarda ısıtma kazan gücü emniyet açısından olduğundan büyük seçilmekte ve serada yetiştirilen ürünün emniyeti için genellikle aynı boyutlarda iki kazan kullanılmaktadır. Isıtma sistemlerinde kazan boyutları küçüldükçe sistemin verimliliği yükselir. 400 kW gücünden küçük ısıtma kazanlarının verimleri büyük kazanlara göre daha yüksektir [1]. Seralarda ısıtma sistemlerinin projelenmesinde gereksinilen ısı gücünün iki kazana bölünmesi enerji tasarrufu sağlamaktadır [2]. Isıtma sisteminde iki kazanın seçilmesi durumunda temel ısı enerjisini karşılayacak kazanın katı yakacak ve ekstrem koşullarda ortaya çıkan ek ısı gücünü karşılayacak kazanın sıvı yakıt veya gaz yakıt kazanı olarak seçilmesi, kurulacak sistemin verimini yükseltmek açısından tavsiye edilmektedir. Yapılacak projelerde seçilecek katı yakacak kazanı sera ısı gereksiniminin en az % 80’ini karşılayacak güçte olmalıdır.

Katı yakacak kazanlarının kullanıldığı ısıtma sistemlerinde veya alternatif enerji kaynaklarının (Jeotermal, Kojenerasyon) ısıtmada kullanılması durumunda, ısıtma sistemlerine ısı depolama tanklarının eklenmesi kaçınılmaz olmuştur. Isı depolama tankı, odun ve kömür gibi katı yakacak tüketen ısıtma kazanları ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanıldığı sistemlerde verimliliği artırmak ve birden fazla ısı kaynağını tek bir sistemde toplamak için kullanılan içleri su dolu haznelerdir. Yenilenebilir enerji sistemleri arasında bulunan ısı pompalarının kullanılmasında da ısı depolama tankı tavsiye edilmektedir. Isı depolama tanklarında yüksek yalıtım kullanıldığı için enerji kaybı minimum seviyededir.

Isı depolama tankı yardımıyla temel ısı kazanından daha etkin yararlanma, enerji tasarrufu ve ekstrem

koşullarda ortaya çıkan ısı enerjisinin karşılanması mümkündür. Isı depolama tankı aynı zamanda katı yakacak kazanlarının kullanıldığı işletmelerde yanmaya bağlı emisyonun düzelmesine olanak sağlarken, kazan etki derecesini de arttırmakta, daha önemlisi katı yakacak kazanının ürettiği ve serada ihtiyaç duyulmayan atık ısının depolanmasına da olanak sağlamaktadır.

Isı depolama tankı kullanmanın avantajları aşağıda verildiği gibi özetlenebilir:

- Katı yakacak kazanlarında yanma sürelerini kısaltarak ve dinlenme sürelerini uzatarak kazan veriminin yükselmesine olanak sağlar.
- İçerisindeki ısıtılmış su bulduran ısı depolama tankı, sistemde ani ihtiyaçlarda kullanılacak sıcak su olduğu anlamına gelir. Bu sayede herhangi bir ısı kaynağının suyu ısıtmasını beklemek gerekmez.

Ancak ısıtma sistemlerinin projelenmesinde, ısı depolama tankıyla tasarruf edilen enerji ile, yatırım için yapılan harcamalar arasındaki ilişki çoğu kez dikkate alınmamaktadır. Bunun da nedeni, ne kadar büyük olursa o kadar iyidir düşüncesinden kaynaklanmaktadır. Belirtilen nedenle sera işletmelerinde kullanılan ısı depolama tanklarının büyük çoğunluğu olması gerekenden daha büyük boyutlarda inşa edilmektedir. Herşeyden önce ısıtma sistemlerinde ısı depolama tanklarının gerekli olup olmadığı öncelikli olarak belirlendikten sonra boyutlandırılmaları için hesaplamalar yapılmalı ve ısı depolama tankı için yapılacak yatırım maliyetleri tasarruf edilecek enerji giderleri ile karşılaştırılmalıdır.

Seralarda ısıtma kazanı ve ısı depolama tankı kapasitelerinin belirlenmesi için ihtiyaç duyulan ısı gücü saatlik değerlere göre hesaplanmalıdır. Belirtilen nedenle yapılan çalışmada ısı gücü hesaplamalarında serada sıcaklık yükselmelerini dikkate alarak saatlik değerlere göre ısı gücünü hesaplayabilen ISIGER-SERA Uzman Sistem [1] kullanılmıştır.

Yapılan bu çalışmada Antalya iklim koşullarında, son yıllarda kurulan modern plastik seraların sahip oldukları donanımına bağlı olarak ısı gücü

gereksinimleri hesaplanmış, elde edilen bu değerlerden gidilerek Antalya’da plastik seralarda kurulacak ısıtma sistemlerinde gerekli ısıtma kazanı ve ısı depolama tankı kapasitesi belirlenmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOT

Çalışmada son yıllarda Türkiye’de çokça kurulan yüksek teknolojiye sahip PE plastik sera boyutları esas alınmıştır. Isı gücü hesaplamalarında kullanılan sera 11 bölmeden oluşup, bölme genişliği 9,60 m’dir. Seranın uzunluğu 100 m olarak kabul edilmiş, yan duvar yüksekliği 5,00 m, mahya yüksekliği ise 7,50 m olarak alınmıştır. Sera çatısı tek kat, yan duvarların çift kat PE plastik (180 µm) örtüldüğü kabul edilmiştir. Tek kat PE plastik örtü için toplam ısı tüketim katsayısı ( $U_{cs}$ )  $7 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ , çift kat PE plastik için  $5,1 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$  olarak alınmıştır [3,4].

Serada saatlik ısı gücü gereksinimi Baytorun ve arkadaşları tarafından [1] geliştirilen ISIGER-SERA Uzman Sistemle hesaplanmıştır. Isı gücü hesaplamalarında serada sıcaklık gece  $16^{\circ}\text{C}$ , gündüz  $18^{\circ}\text{C}$  ve havalandırma sıcaklığı  $25^{\circ}\text{C}$  olarak kabul edilmiştir. Serada ısı koruma amacıyla tek katlı, alüminyum ve şeffaf akril şeritlere sahip ısı perdesi için tasarruf oranı %40 ve perdelerin sızdırmazlıkları orta düzeyde kabul edilmiştir.

**Çizelge 1.** Farklı yakıtların alt ısı değerleri, yanma randımanları ve ısı enerjisi maliyetleri (<http://www.thesisat.com.tr/yayin/yakit-fiyatlari/>)

Yakıt Çeşidi	Birim	Alt ısı değeri (kWh/Birim)	Birim Fiyat (TL/Birim)	Ort. İşletme Verimi (%)	Enerji Fiyatı TL/kWh
Doğalgaz (>300.001 m <sup>3</sup> /yıl)	m <sup>3</sup>	9,59	0,80538	93	0,09030
İthal Sibiry kömürü	kg	8,14	0,72881	65	0,13775
Kalorifer yakıtı (No: 6)	kg	11,12	1,33898	80	0,15052

Isıtma giderlerinin hesaplanmasında Çizelge 1’de verilen yakıtların alt ısıl değerleri ve fiyatları esas alınmıştır. Katı yakacak kazanlarında kullanılan kömürün birim enerji fiyatı, kömürün birim fiyatı, alt ısıl değeri ve işletme verimi esas alınarak hesaplanmıştır. Hesaplamalarda gerekli olan randıman değerleri katı yakacak kazanının tam kapasitede çalışma süresine bağlı olarak belirlenmiştir. Katı yakacak kazanının tam kapasite ile yanması durumunda randıman %80 [3], değişen ısı gücüne göre yanmasında %60 olarak kabul edilmiştir.

ISIGER-SERA Uzman Sisteme göre yapılan ısı gücü ve ısı gereksinimi hesaplamalarında seracılığın yaygın olarak yapıldığı Antalya ilinin uzun yıllık (1962-2012) saatlik iklim değerleri (sıcaklık, güneş radyasyonu ve rüzgar hızı) esas alınmıştır.

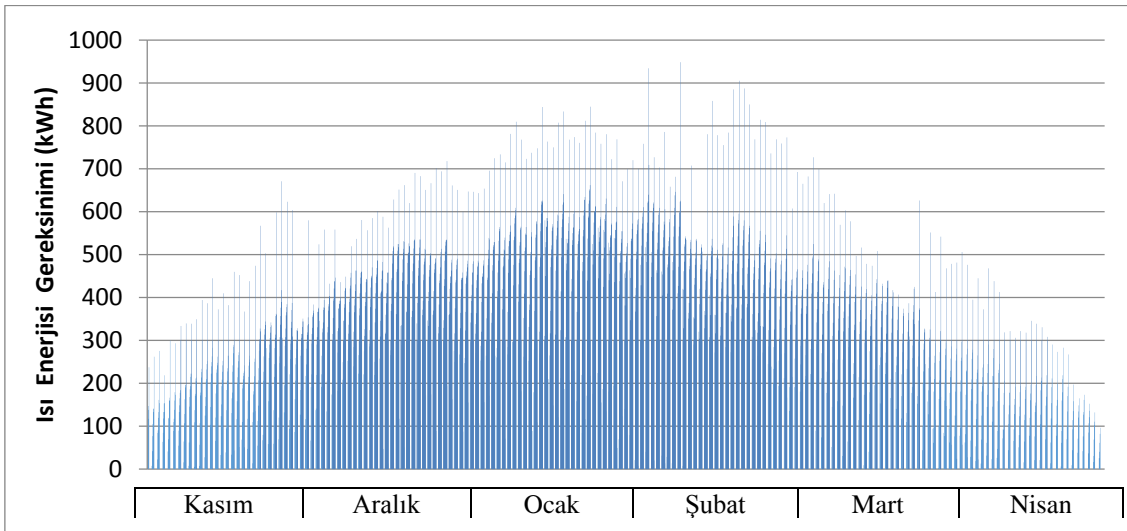
### 3. BULGULAR

Antalya koşullarında 10.560 m<sup>2</sup> büyüklüğündeki ısı perdeli plastik serada sıcaklığın gece/gündüz 16/18°C’de tutulmak istenmesi durumunda üretim periyodu boyunca ortaya çıkan ısı gereksinimleri ISIGER-SERA Uzman Sistemle hesaplanarak

Şekil 1’de verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi serada saatlik ısı enerjisi gereksinimi 950 kWh’a kadar yükselmektedir.

Serada üretim periyodu boyunca gereksinilen ısı enerjisi ise 934.756 kWh/a (a = periyod) olurken, ısıtma süresi 2716 saat olarak hesaplanmıştır (Şekil 2). Antalya ilinin uzun yıllık saatlik iklim değerlerine göre serada sıcaklığın gece/gündüz 16/18°C olması arzulandığında yılın saatlerine göre ihtiyaç duyulan ısı gücü değerleri Şekil 2’de verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi ortaya çıkan 950 kW maksimum ısı gücüne yılın çok az bir zamanında ihtiyaç duyulmaktadır.

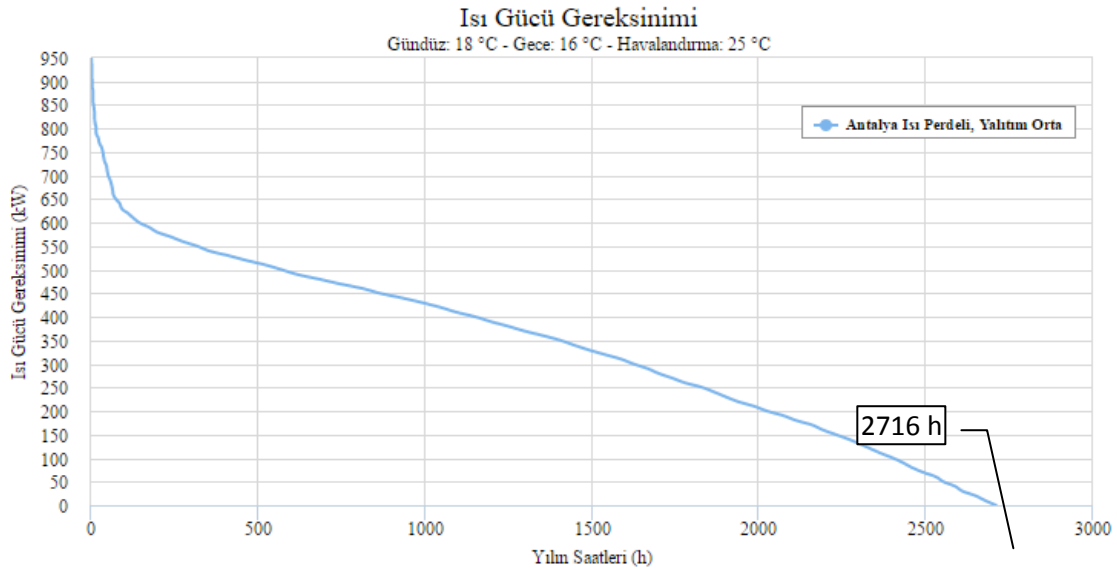
Antalya koşullarında 10.560 m<sup>2</sup> büyüklüğündeki ısı perdeli plastik serada kurulacak farklı ısıtma sistemleri için ISIGER-SERA Uzman Sistemle hesaplanan ısı enerjisi ve ısıtma süreleri (h) Çizelge 2’de verilmiştir. Çizelgeden de görüleceği gibi serada gerekli olan ısı enerjisinin karşılanması amacıyla 800 kW gücünde tek bir katı yakacak kazanının kullanılması durumunda üretim periyodu boyunca ihtiyaç duyulan 934.756 kWh’lik ısı enerjisinin 933.913 kWh’i karşılanabilecektir.



Şekil 1. Antalya’da 10.560 m<sup>2</sup> büyüklüğünde ısı perdeli plastik serada sıcaklığın gece/gündüz 16/18°C’de tutulmak istenmesi durumunda ortaya çıkan saatlik ısı enerjisi gereksinimi

Sera ısıtma sisteminde ısı depolama tankının (buffer) kullanılması durumunda ısıtma kazan gücünün küçültülmesi mümkündür. Çizelge 2'den de görüleceği gibi serada 400 kW'lık katı yakacak kazanı ve 170 m<sup>3</sup> hacminde ısı depolama tankının kullanılması durumunda yıllık ısı enerjisinin %99,7'si karşılanabilmektedir. Bu durum kazan veya ısı depolama tankı kapasitesinin

büyütülmesini gerektirmektedir. Kazan gücünün 500 kW'ya yükseltilmesi ve ısı depolama tankı kapasitesinin 75 m<sup>3</sup>'e düşürülmesi durumunda yıllık ısı enerjisinin %99,9'u karşılanırken, ısı depolama tankı hacminin 118 m<sup>3</sup>'e yükseltilmesi durumunda yıllık ısı enerjisinin %100'ü karşılanabilecektir.



**Şekil 2.** Antalya'da 10.560 m<sup>2</sup> büyüklüğündeki plastik serada sıcaklığın gece/gündüz 16/18°C'de tutulmak istenmesi durumunda üretim periyodu boyunca ortaya çıkan saatlik ısı gücü gereksinimleri

Seralarda ihtiyaç duyulan ısı gücünün iki ayrı kazana paylaşılması sistemin kontrolünü kolaylaştırdığı gibi işletme verimini yükselterek enerji tasarrufu sağlamaktadır. Son yıllarda kurulan yüksek teknolojiye sahip modern seralarda serada yapılan üretimin güvenliği açısından ısıtma sisteminde iki ayrı kazan kullanılmaktadır. Ancak bu projelerde yapılan en büyük hata her iki kazanında seranın maksimum ısı gücüne göre katı yakacak kazanı olarak seçilmesidir. Oysa yapılacak projelerde katı yakacak kazanı seraların yıllık ısı enerjisinin %80'inin karşılayacak temel ısıtma kazanı ve geri kalan ısı enerjisinin sıvı yakıt veya gaz yakıtla çalışan ısıtma kazanı olarak seçilmesi en uygun çözüm olacaktır. Ancak seçilecek ekstrem ısı kazanı, katı yakacak kazanının devre dışı kalması durumunda

seradaki bitkileri dona karşı koruyacak güçte olmalıdır.

Antalya koşullarında serada temel ısı ihtiyacını karşılayacak 500 kW gücündeki katı yakacak kazanı ile, ekstrem koşullardaki ısı enerjisini karşılayacak 300 kW gücündeki gaz veya sıvı yakıt kazanının seçilmesi durumunda, üretim periyodu boyunca gereksinilen ısı enerjisinin %95,1'i olan 888.827 kWh temel ısı kazanı tarafından karşılanırken, 300 kW gücündeki ekstrem ısıtma kazanı 45.086 kWh ısı enerjisini karşılayacaktır (Çizelge 2). Temel kazan üretim periyodu boyunca ısıtma ihtiyacı duyulan 2716 saatin tümünde aktif olarak çalışırken sadece 579 saatte tam kapasite ile yanacaktır.

Sera Isıtma Sistemlerinde Isı Depolama Tank (Buffer) Kapasitesinin Belirlenmesi

**Çizelge 2.** Antalya koşullarında 10.560 m<sup>2</sup> büyüklüğündeki plastik serada sıcaklığın gece/gündüz 16/18°C’de tutulmak istenmesi durumunda farklı kazan gücü ve farklı ısı depolama tankı hacimlerinde yıllık ısı enerjisinin karşılanma yüzdeleri ve enerji maliyetleri

Isı enerjisi gereksinimi (kWh/a)	934.756										
Isıtma süresi (h)	2716										
	Tek ısıtma kazanı + Isı depolama tankı				Çift ısıtma kazanı + I depolama tankı						
	800	400	500	500	500	300	300	400	400	500	500
Temel Kazan Gücü (kW)					500	300	300	400	400	500	500
Ekstrem kazan gücü (kW)	-	-	-	-	300	200	200	200	200	200	200
Isı depolama tankı hacmi (m <sup>3</sup> )	0	170	75	118	0	75	118	42	75	42	75
Temel kazan ısı enerjisi (kWh/a)	933.913	728.349	783.913	782.211	888.827	624.703	615.361	744.211	743.976	780.105	780.318
Temel kazan çalışma süresi (h)	2716	2883	2505	2503	2716	2780	2767	2548	2564	2391	2394
Temel kazan tam çalışma süresi (h)	15	1968	1360	1415	579	1360	1340	972	1046	946	973
Temel kazan ısı karşılanma yüzdesi (%)	99,9	77,9	83,9	83,7	95,1	66,8	65,8	79,6	79,6	83,5	83,5
Ekstrem kazan ısı enerjisi (kWh/a)	-	-	-	-	45.086	193.721	194.644	87.386	83.020	22.432	19.983
Ekstrem kazan çalışma süresi (h)	-	-	-	-	579	1296	1315	768	723	319	301
Ekstrem kazan tam çalışma süresi (h)	-	-	-	-	15	563	560	129	128	25	16
E.K. Isı enerjisi karşılanma yüzdesi (%)	-	-	-	-	4,8	20,7	20,8	9,3	8,9	2,4	2,1
Isı depolama tankında depolanan ısı enerjisi	-	230.418	149.943	152.295	-	115.445	124.501	103.133	107.733	132.218	134.455
Isı depolama tankının ısı karşılanma yüzdesi (%)	-	21,8	16,0	16,3	-	12,4	13,3	11,0	11,5	14,1	14,4
Isı depolama tankı ısı kaybı (kWh)	-	2210	1418	1896	-	1421	1.886	1072	1480	1.052	1.484
Temel kazan + Isı depolama tankı ısı enerjisi	933.913	931.767	933.856	934.507	933.913	740.148	739.862	847.344	851.709	912.323	914.773
Temel kazan + Isı depolama tankı (%)	-	99,7	99,9	100	-	79,2	79,2	90,6	91,1	97,6	97,9
Toplam ısı enerjisi (kWh/a)	933.913	931.767	933.856	934.507	933.913	933.869	934.507	934.730	934.730	934.756	934.756
Toplam ısı enerjisi (%)	99,9	99,7	99,9	100	99,9	99,9	100	100	100	100	100
Katı yakacak kazanı verimi (%)	0,60	0,74	0,71	0,71	0,64	0,70	0,70	0,68	0,68	0,68	0,68
Isı depolama tankı kayıpları (TL)	-	269	179	238	-	182	242	142	194	139	195
Kömür giderleri (TL)	139.107	113.269	118.000	117.340	130.117	94.963	95.061	112.180	111.882	120.278	120.220
Kal-yak giderleri (TL)	-	-	-	-	6.786	29.158	29.297	13.153	12.496	3.376	3.008
Toplam yakıt giderleri (TL)	139.107	113.538	118.179	117.578	136.903	124.303	124.600	125.475	124.572	123.794	123.423

İkinci kazan ise 579 saat çalışma süresinin sadece 15 saatinde tam kapasite ile görev yapacaktır. İkinci kazan kal-yak ile çalıştığından brülörün açıp kapanması nedeniyle yakıt kayıpları çok azalacak, ancak katı yakacak kazanı 2137 saat tam kapasitenin altında çalışacağından sistemin randımanı düşecektir. Yukarıdaki açıklamalar çerçevesinde serada kurulacak iki farklı ısıtma sisteminde de katı yakacak kazanlarında yakıt denetiminin zorluğu nedeniyle enerji kayıpları ortaya çıkacaktır. Ancak iki kazanın kullanılması durumunda ortaya çıkan ısı enerjisi kayıpları tek kazanın kullanıldığı birinci sisteme göre daha az olacaktır.

Seralarda en yüksek ısı gereksinimi sabah ısı perdelerinin toplandığı saatlerde ortaya çıkmaktadır. Bu durum ısıtma kazanlarına aşırı yük bindirmekte ve serada sıcaklık dalgalanmalarına neden olmaktadır. Katı yakacak kazanlarının kullanıldığı ısıtma sistemlerinde ısı depolama tankı, enerji verimliliğini yükseltmek ve ani olarak ortaya çıkan ısı gereksinimi sıçramalarında kazana yük bindirmeden serada sıcaklık dalgalanmalarına müsaade etmemektedir. Şekil 1'den de görüleceği gibi Antalya koşullarında 10.560 m<sup>2</sup> büyüklüğündeki ısı perdeli plastik serada yılın aylarına bağlı olarak ortaya çıkan saatlik ısı gereksinimi 0-950 kWh arasında değişmektedir. Isıtma ihtiyacının ortaya çıktığı üretim periyodu boyunca Aralık-Şubat döneminde ağırlıklı olarak 300-500 kWh ısı enerjisine ihtiyaç duyulurken, sabah ısı perdelerinin toplandığı saatlerde ısı enerjisi gereksiniminde sıçramalar ortaya çıkarak 800-900 kWh'e ulaşmaktadır. Serada temel ısı gereksinimini karşılayacak katı yakacak kazanı ve ekstrem ısı gereksinimini karşılayacak sıvı yakıt kazanına ek olarak ısı depolama tankının kullanılması durumunda serada ısıtma sisteminin verimliliği yükselirken ısı yükü artışlarında sıcaklık dalgalanmaları ortaya çıkmayacaktır.

Serada kurulacak ısıtma sisteminde kömürle çalışan temel ısıtma kazanı ve kal-yakla çalışan ekstrem ısı kazanına ek olarak farklı hacimlerdeki ısı depolama tankları yardımıyla yıllık ısı enerjisinin karşılanma yüzdeleri Çizelge 2'de

verilmiştir. Çizelgeden görüleceği gibi Antalya koşullarında 10.560 m<sup>2</sup> büyüklüğündeki sera için düşünülen tüm ısıtma sistemleri senaryolarında yıllık ısı enerjisinin %99,7-%100'ü karşılanabilmektedir. Ancak burada önemli olan katı yakacak kazanının yıllık ısı enerjisini karşılama yüzdesi ve tam kapasite çalışma süresidir. Katı yakacak kazanında daha ucuz yakıt tüketildiğinden kal-yak ile çalışan ekstrem ısı kazanının mümkün olduğunca devreye alınmaması üretim maliyeti açısından önemlidir. Katı yakacak kazanları tam kapasite ile çalıştırdıklarında işletme verimleri yükselmektedir. Çizelgeden de görüleceği gibi katı yakacak kazanının 400 kW ve üzerinde seçilmesi durumunda yıllık ısı enerjisinin %80'i karşılanırken, tam kapasite çalışma süreleri 1000 h civarında olmaktadır.

### 3.1. Isı Depolama Tankının İşletilmesi

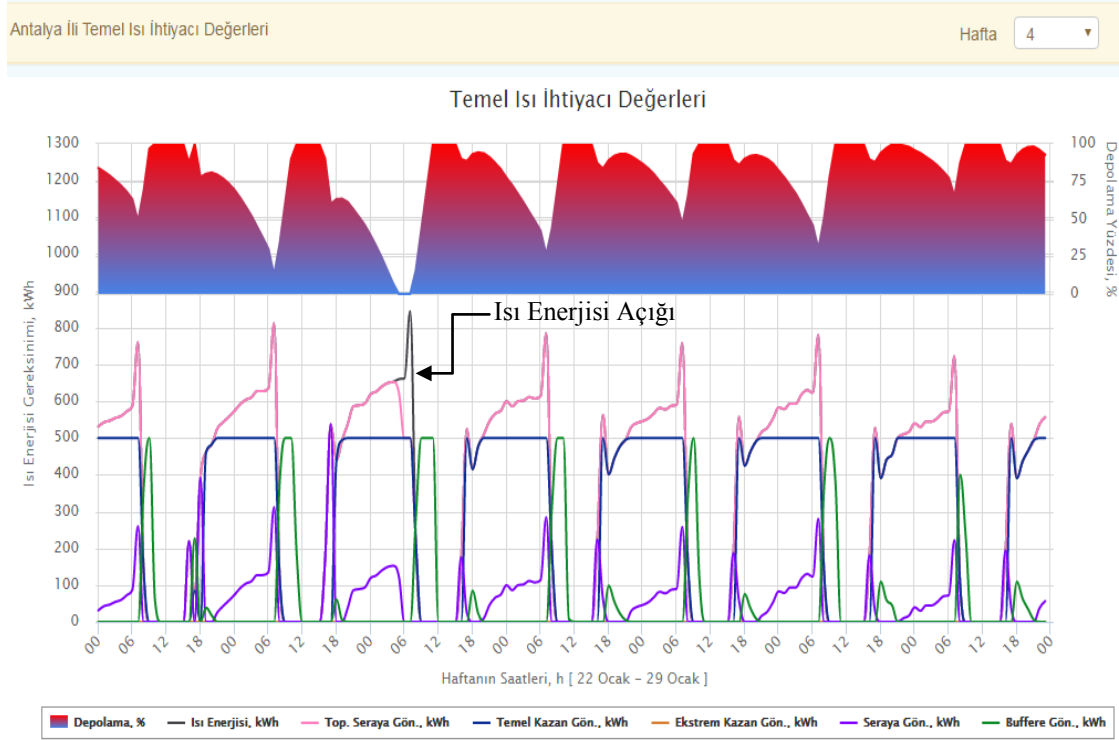
Isıtma sistemlerinde kullanılan ısı depolama tankları en efektif olarak gündüz depolama gece tüketme esasına göre çalışırlar [5]. Ilıman iklimin hakim olduğu Akdeniz bölgesinde gündüz saatlerinde seralarda ısı gereksinimi güneşten kazanılan enerjiyle karşılanmaktadır [1]. Bu durum ısı depolama tankı kullanılan ısıtma sistemleri için büyük bir avantaj sağlamaktadır. Gece saatlerinde yapılan ısıtmadan sonra gündüz saatlerinde katı yakacak kazanı çalışmasına devam ederek ürettiği ısı enerjisini ısı depolama tankında depolamaktadır. Akşam ısıtma ihtiyacının ortaya çıktığı saatlerde katı yakacak kazanı devreye girerek serayı ısıtırken, ilerleyen saatlerde ısı enerjisinin yeterli olmadığı zamanlarda eksik kalan ısı enerjisi ısı depolama tankı tarafından karşılanmaktadır. Isı depolama tankı özellikle sabahleyin ısı perdelerinin toplandığı saatlerde ortaya çıkan ısı yükü sıçramalarını karşılamada büyük bir avantaj sağlamaktadır.

Isı depolama tankının işletilmesi seranın enerji tüketimini etkilemektedir. Isı depolama tankının farklı depolama seviyelerinde katı yakacak kazanı devreye sokulmaktadır. Serada ısı enerjisi ihtiyaç duyulduğunda ilk etapta ısı depolama tankı devreye girerek seraya ısı enerjisi göndermekte, ısı

### Sera Isıtma Sistemlerinde Isı Depolama Tank (Buffer) Kapasitesinin Belirlenmesi

depolama tankına tanımlanan ısı enerjisi seviyesine ulaşıncaya katı yakacak kazanı devreye girerek öncelikle seraya ve yeterse ısı depolama tankına ısı enerjisi göndermektedir. Kış aylarında ısı depolama tankında depolanan enerji seviyesinin %90'da tutulması tavsiye edilmektedir. Şekil 3'te ısı depolamanın %90 olarak kabul edildiği koşullarda yılın en soğuk 4. haftasında ısı

depolama tankındaki enerji seviyeleri değişimi ve serada ısıtma kazanı ve ısı depolama tankı tarafından karşılanan enerji değerleri verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi ısı depolama tankında doluluk yüzdesi 90 olarak alınınca 4. haftanın 3. gününde sabah saatlerinde çok az bir enerji açığı ortaya çıkmaktadır.

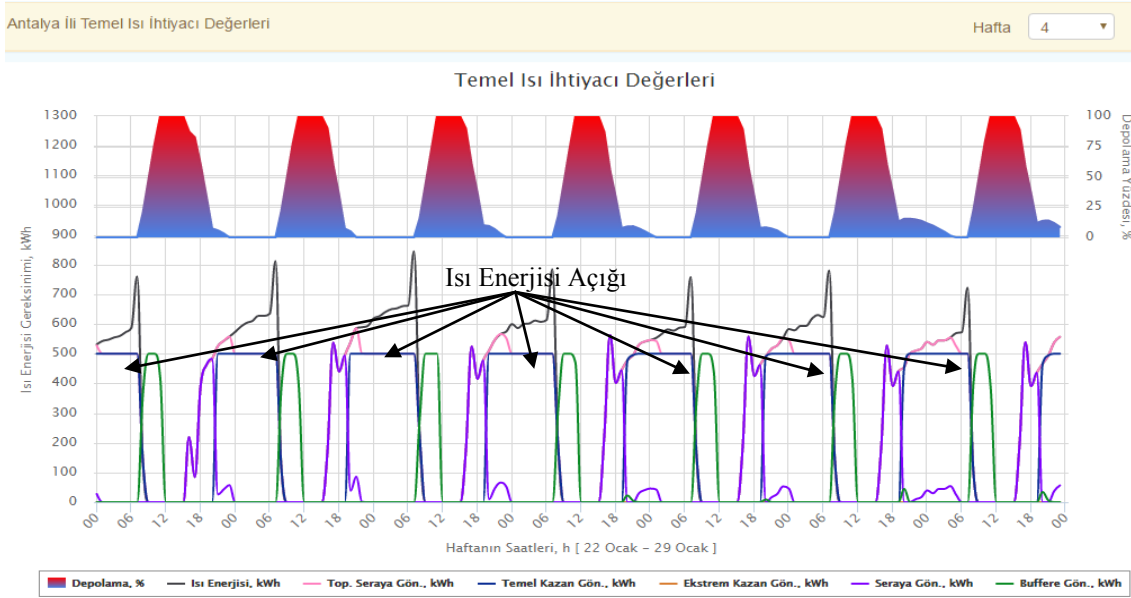


**Şekil 3.** Antalya koşullarında 500 kW gücünde katı yakacak kazanı ve 75 m<sup>3</sup> hacmindeki ısı depolama tankının kullanıldığı ısıtma sisteminde, yılın 4. haftasında serada ihtiyaç duyulan, ısıtma kazanı tarafından üretilen ve ısı depolama tankı tarafından depolanan ısı enerjisi değerleri (Isı depolama tankı doluluk yüzdesi 90)

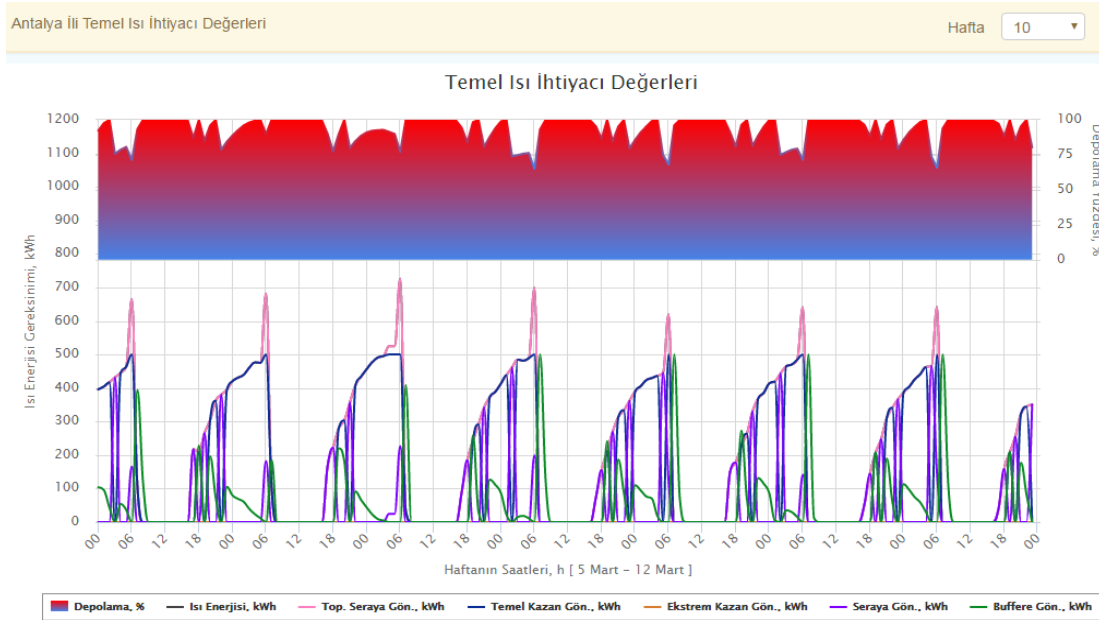
Isı depolama tankının doluluk yüzdesi 25 olarak alındığında tankta depolanmış ısı enerjisi %25'e düştüğünde ısıtma kazanı devreye girmektedir. Bu koşullarda ilerleyen saatlerde serada artan ısı enerjisi gereksinimi için ısı depolama tankında hazır bekleyen yeterli ısı enerjisi olmadığından, serada enerji açıkları ortaya çıkmaktadır. Şekil 4'te yılın 4. haftasında ortaya çıkan ısı enerjisi açıkları ve ısı depolama tankında depolanan ısı enerjisi değerlerindeki değişim verilmiştir. Şekilden de

görüleceği gibi yılın 4. haftasında ısı depolama tankında yeterli ısı enerjisi depolanmadığından ısı enerjisi açığı ortaya çıkmaktadır. Bu koşullarda ekstrem ısı kazanı devreye girerek eksik kalan ısı enerjisini tamamlamakta böylece ısıtma maliyetleri yükselmektedir. Belirtilen nedenle yüksek ısı enerjisine ihtiyaç duyulan kış günlerinde ısı depolama tankının doluluk yüzdesi yüksek tutulmalıdır.





**Şekil 4.** Antalya koşullarında 500 kW gücünde katı yakacak kazanı ve 75 m<sup>3</sup> hacmindeki ısı depolama tankının kullanıldığı ısıtma sisteminde yılın 4. haftasında serada ihtiyaç duyulan, ısıtma kazanı tarafından üretilen ve ısı depolama tankında depolanan ısı enerjisi değerleri (Isı depolama tankı doluluk yüzdesi 25)

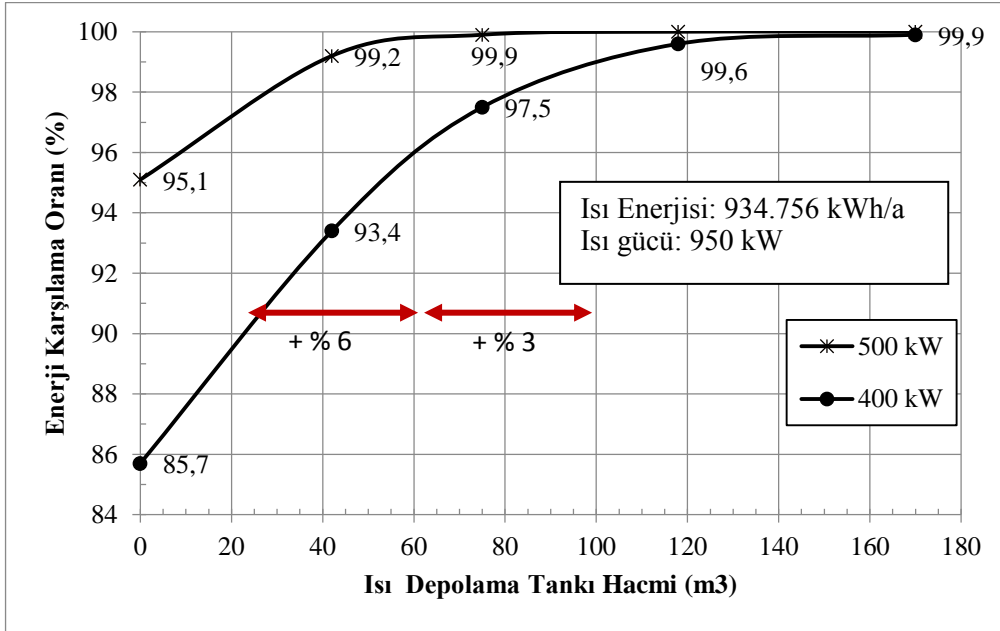


**Şekil 5.** Antalya koşullarında 500 kW gücünde katı yakacak kazanı ve 75 m<sup>3</sup> hacmindeki ısı depolama tankının kullanıldığı ısıtma sisteminde yılın 10. Haftasında serada ihtiyaç duyulan, ısıtma kazanı tarafından üretilen ve ısı depolama tankı tarafından depolanan ısı enerjisi değerleri (Isı depolama tankı doluluk yüzdesi 90)

## Sera Isıtma Sistemlerinde Isı Depolama Tank (Buffer) Kapasitesinin Belirlenmesi

Isı depolama tankının doluluk yüzdesinin üretim periyodu boyunca yüksek tutulması geçiş dönemlerinde (Kasım, Mart) katı yakacak kazanının efektif çalışmasına engel olmaktadır. Serada ısı gereksiniminin azaldığı geçiş dönemlerinde ısı depolama tankındaki ısı enerjisi gece saatlerinde tüketilemediğinden katı yakacak kazanı efektif olarak kullanılamamaktadır. Şekil 5'te ısı depolama tankında depolama yüzdesi 90 olarak alındığında ısı depolama tankında enerji depolama durumu ve katı yakacak kazanının seraya aralıklarla gönderdiği ısı enerjisi değerleri

verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi Antalya koşullarında yılın 10. haftasında (5 Mart-12 Mart) %90 doluluk koşullarında ısı depolama tankının boşalmadığı ve tanktaki ısı enerjisinin etkili kullanılmadığı görülmektedir. Belirtilen nedenle serada ısı ihtiyacının azaldığı geçiş dönemlerinde ısı depolama tankının depolama yüzdesinin düşük (%25) tutulması daha uygundur. Ayrıca, Akdeniz iklim koşullarında 15 Mart - 15 Kasım arasında ısı depolama tankının devre dışı bırakılması ısıtma sisteminin daha etkili çalışmasına imkan sağlayacaktır.



Şekil 6. 400 ve 500 kW gücünde katı yakacak kazanlarına ek olarak farklı hacimlere sahip ısı depolama tankı ile ısı enerjisi karşılanma yüzdesi

### Isı depolama tankının kapasitesi büyüdükçe ısı depolama etkenliği azalmaktadır.

Isı depolama tankının büyütülmesi ile depolanan ısı enerjisi artarken, ısı depolama tankından yararlanma oranı azalmaktadır. Şekil 6'da 400 kW gücündeki katı yakacak kazanına sahip ısıtma sisteminde ısı depolama tank kapasitesinin 20 m<sup>3</sup>'ten 60 m<sup>3</sup>'e büyütülmesi durumunda yıllık ısı enerjisinin karşılanma yüzdesi %6 artarken, ısı depolama tankı hacminin 60 m<sup>3</sup>'ten 100 m<sup>3</sup>'e

yükseltilmesi durumunda ise ısı enerjisinin karşılanma yüzdesi sadece %3 artmaktadır. Isı depolama tankı hacminin daha da büyütülmesi durumunda bu oran daha da azalmaktadır. Isı depolama tankıyla tasarruf edilen enerji ile yatırım için yapılan harcamalar arasındaki ilişki çoğu kez ısı depolama tankının boyutlandırılmasında dikkate alınmamaktadır. Bunun da nedeni ne kadar büyük olursa o kadar iyidir düşüncesinden kaynaklanmaktadır. Belirtilen nedenle sera işletmelerinde kullanılan ısı depolama tanklarının

büyük çoğunluğu olması gerekenden daha büyük boyutlarda inşa edilmektedirler. Herşeyden önce ısıtma sistemlerinde ısı depolama tankının gerekli olup olmadığı öncelikli olarak belirlendikten sonra, boyutlandırma hesaplamaları yapılmalı ve belirlenen ısı depolama tankı büyüklükleri için yapılacak yatırım maliyetlerinin tasarruf edilen enerji giderleri ile karşılaştırılmalıdır.

### **Temel ısı enerjisini karşılayan ısıtma kazanı büyüdükçe ısı depolama tankının etkenliği azalmaktadır.**

Katı yakacak kazan gücünün yükseltilmesi seranın ısı enerjisi karşılama yüzdesini artırırken, ısı depolama tankının etkenliğini azaltmaktadır. Şekil 6'da Antalya koşulları için hesaplanmış 400 ve 500 kW gücündeki ısıtma kazanlarına ek olarak sisteme eklenen farklı kapasitelerdeki ısı depolama tanklarının yıllık ısı enerjisi karşılama yüzdeleri verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi ısıtma kazanı gücünün 400 kW'dan 500 kW'ya yükseltilmesi durumunda ısı depolama tankı olmadan yıllık ısı enerjisinin %95,1'i karşılanabilmektedir (Şekil 6). Bu da 400 kW'lık kazana göre %9,4'lük bir artış anlamına gelmektedir. Ancak 400 kW'lık kazana ek olarak 60 m<sup>3</sup> hacmindeki ısı depolama tankının kullanılması ısı enerjisi karşılama yüzdesini 10,3 artırırken, 500 kW gücüne sahip ısıtma kazanına ek olarak 60 m<sup>3</sup> hacmindeki ısı depolama tankı ile yıllık ısı enerjisinin karşılama yüzdesi sadece %4,6 oranında artmaktadır.

### **Isı depolama tankında iyi bir yalıtım mutlak gereklidir.**

Isı depolama tankları sahip oldukları büyüklüğe bağlı olarak kapalı veya açık ortamda inşa edilirler. Isı depolama tankı yüzeyinden kaybolan ısı enerjisinin en aza indirilebilmesi için çok iyi bir yalıtım zorunludur. Isı depolama tanklarının artan yüzey alanlarına bağlı olarak ısı kayıpları da artmaktadır. İyi bir yalıtımla küçük kapasiteli ısı depolama tanklarında ısı kayıpları azaltılabilmektedir. Çizelge 2'de Antalya koşullarında farklı ısı depolama büyüklüklerine bağlı olarak üretim periyodu boyunca ortaya çıkan ısı kayıplar ve ısı kayıplarının maliyetleri verilmiştir.

### **3.2. Isıtma Maliyetlerinden Tasarruf**

Isıtma sistemindeki ısı depolama tankı aracılığıyla tasarruf edilen yakıt giderleri ısı depolama tankı hacmine, temel ve ekstrem koşullar kazanında tüketilen yakıtın maliyetine bağlı olarak değişmektedir. Katı yakacak kazanlarına sahip ısıtma sistemlerinde ısı depolama tankı kullanılması, ısıtma kazanının yanma verimliliğini yükseltmektedir. Serada ortaya çıkan ısı gereksinimi değişimlerine bağlı olarak katı yakıt kazanlarında yanma işleminin düzenlenmesi oldukça zordur. Isıtma kazanlarının yakıt tüketimi işletme verimine bağlı olarak değişmektedir. Düzenli olarak yakılan yüksek randımanlı katı yakacak kazanlarında verim %80 alınırken, gereğinden büyük seçilmiş katı yakacak kazanlarında düzensiz yanma nedeniyle bu değer %60 civarındadır [3]. Katı yakacak kazanlarının verimi tam kapasite ile yanmalarına bağlı olarak değişmektedir. Çizelge 2'de Antalya koşullarında ısı perdeli plastik serada sıcaklığın gece/gündüz 16/18°C'de tutulmak istenmesi durumunda farklı ısıtma sistemleri kombinasyonlarında katı yakacak kazanlarının çalışma zamanları ve tam kapasite ile yanma süreleri ISIGER-SERA Uzman Sistemle hesaplanarak verilmiştir. Katı yakacak kazanlarının tam kapasite ile yanma durumlarına göre hesaplanan ortalama işletme verimi Çizelge 2'de verilmiştir. Üretim periyodu boyunca ortaya çıkan kömür tüketimleri hesaplanan bu verim değerlerine göre belirlenmiştir.

Antalya koşullarında 10.560 m<sup>2</sup> büyüklüğündeki ısı perdeli plastik serada farklı ısıtma sistemleri senaryolarına bağlı olarak hesaplanan ısıtma giderlerine göre katı yakacak kazanında kömür, ekstrem ısıtma kazanında kal-yak kullanıldığında en düşük ısıtma maliyeti 400 kW katı yakacak kazanı ve 170 m<sup>3</sup> ısı depolama tankına sahip sistemde ortaya çıkmaktadır. Ancak bu seçenekte sera ısı enerjisinin %99,7'si karşılanmaktadır. Isıtma sisteminde 500 kW gücünde katı yakacak kazanı ve 118 m<sup>3</sup> hacminde ısı depolama tankının kullanılması durumunda seranın ısı enerjisinin %100'ünün karşılanması yanında en düşük ısıtma maliyeti ortaya çıkmaktadır.

Belirtilen nedenle Antalya koşullarında 10.560 m<sup>2</sup> büyüklüğündeki serada kurulacak ısıtma sistemiyle sıcaklığın gece/gündüz 16/18°C'de tutulmak istenmesi durumunda 500 kW gücünde katı yakacak kazanı ve 118 m<sup>3</sup> hacminde ısı depolama tankı yeterli olacaktır. Ancak katı yakacak kazanının herhangi bir nedenle devre dışı kalması durumunda serada bitkileri dondan koruyabilecek ikinci bir kazan mutlaka sisteme eklenmelidir.

Çizelge 2'den de görüleceği gibi ısı depolama tankının kullanılması her durumda ısıtma giderlerinin azalmasına neden olmaktadır. Ancak ısı depolama tankı konusunda karar verebilmek için herşeyden önce kurulacak ısı depolama tankı ve ona bağlı sistemlerin maliyetleri ile tasarruf edilen enerji maliyetlerinin karşılaştırılması gereklidir. Isı depolama tankının kuruluşunda yalıtımlı tank maliyeti dışında, temel, basınç destekleri, basınç vanaları, hidrolik bağlantılar ve depolamanın otomatik kontrol giderlerinin dikkate alınması gereklidir.

#### **4. TEŞEKKÜR**

Bu makale TÜBİTAK tarafından desteklenen 113O533 nolu proje çerçevesinde geliştirilen ISIGER-SERA uzman sistemle yapılan hesaplamalara göre hazırlanmıştır.

#### **5. KAYNAKLAR**

1. Baytorun, N.A., Akyüz, A., Üstün, S., 2016. Seralarda Isıtma Sistemlerinin Modellemesi ve Karar Verme Aşamasında Bilimsel Verilere Dayalı Uzman Sistemin Geliştirilmesi. TÜBİTAK Proje No: 114O533
2. Heise, P., Ludewig, R., Sabel, J., Kanz, H., Reuter, C., Besener, W., Holtmann, B., Hintze, C., Herrmann, E., 2000. Energiepreisverteuerung im Gartenbau. Maßnahmen zur Senkung der Heizkosten Arbeitsgruppe Energieeffizienz aus Baden-Württemberg und Bayern. [bwl\\_allg\\_energiebroschuere%20\(5\).pdf](#)
3. Tantau, H.J., 1983. Heizungsanlagen im Gartenbau. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
4. Von Zabeltitz, C., 1986. Gewächshäuser. Verlag Eugen-Ulmer.
5. Daniel, T., 2010. Der passende Pufferspeicher als Schlüssel für mehr Wirtschaftlichkeit. Fachtagung Energieeffizienz Abwärme sinnvoll eingesetzt-Alternative Energiequellen für den Gartenbau.