

	<b>SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ</b> <i>SAKARYA UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE</i>		 <b>SAKARYA</b> UNIVERSITY
	e-ISSN: 2147-835X		
	Dergi sayfası: <a href="http://www.saujs.sakarya.edu.tr">http://www.saujs.sakarya.edu.tr</a>		
	<u>Geliş/Received</u> 19-06-2017		
	<u>Kabul/Accepted</u> 29-09-2017		<u>Doi</u> 10.16984/saufenbilder.322448

## İklimlendirme uygulamalarında Chiller-Kuru Soğutucu enerji analizi

A.Talat İnan\*<sup>1</sup>

### ÖZ

Sürdürülebilir enerji için yeni teknoloji ve ürünlerin etkin ve verimli kullanılması oldukça önemlidir. Hem konut hem de endüstride geniş bir uygulama alanına sahip chiller-kuru soğutucu ikilisi de bu kapsamdadır. Dış hava sıcaklıklarına bağlı olarak kuru soğutucular hem tek başlarına hem de chiller ile entegre edilerek işletilebilirler. Bu çalışmada, Türkiye’de farklı iklim bölgelerini temsil eden sekiz ile ait bin değerleri esas alınarak chiller-kuru soğutucu ikilisine ilişkin enerji analizleri yapılmıştır. Yıllık bin değerlerine göre üç farklı çalışma senaryosu uygulanarak 365 gün 7/24 iklimlendirme ihtiyacı olması durumunda, enerji kazancı ve yatırımın geri dönüş süreleri tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** chiller-kuru soğutucu, bin değeri, enerji analizi

## Energy analysis of Chiller-Dry Cooler in air conditioning applications

### ABSTRACT

Effective and productive use of new technology and products for sustainable energy is very important. Chiller-dry cooler couple, which have a wide application in both residential and industrial areas, is considered in this respect. Depending on the outside temperatures, the dry coolers can be operated stand alone or coupled with the chiller. In this study, energy analyzes of the chiller-dry cooler couple were carried out based on the bin values belonging to eight provinces representing different climatic regions in Turkey. Three different scenarios were applied according to the annual value of the bin on basis of 365 days and 24/7 in which air conditioning is required. Consequently, energy savings and investment pay back time were determined.

**Keywords:** chiller-dry cooler, bin values, energy analysis

\* A.Talat İnan

<sup>1</sup> Marmara Üniversitesi, [ainan@marmara.edu.tr](mailto:ainan@marmara.edu.tr)

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Enerjinin etkin ve verimli kullanılmasında sürdürülebilir olmasının önemi her geçen gün artmaktadır. Bu nedenle enerji tesis ve tesisatlarında kullanılan chillerlerde tüketilen enerjiye bağlı olarak sistem tasarımlarında ve işletilmesinde soğutma için harcanacak enerji maliyetini azaltmaya yönelik uygulamalar yapmak kaçınılmazdır. İklimlendirme sistemlerinde ısı yük hesaplamaları için yaygın olan uygulamalardan birisi derece-gün yöntemidir. Bu yöntemin uygulanabilirliği bina ile ilgili parametrelerin değişken olmamasına bağlıdır. Buna karşılık bin yöntemi, derece-gün yönteminin eksik yönlerini tamamlayan ve uygulaması derece-gün yöntemi gibi basit olan bir yöntemdir. Bu yöntem, iç ve dış ortam sıcaklık farklarına dayanmaktadır. Derece-gün yönteminden farklı olarak, referans sıcaklığa göre sıcaklık farklarının gerçekleşme sayıları olan bin-değerleri kullanılmaktadır. Isıl yüklerin hesaplanmasında bin yönteminin kullanılması derece-gün yöntemine göre daha güvenilir ve daha hızlı sonuç elde edilmesini sağlamaktadır [1]-[3].

İklimlendirme sisteminin kurulacağı bölgenin iklim verileri, doğal soğutmadan elde edilebilecek faydanın belirlenmesinde en önemli unsurdur. İklimlendirme sistemi için daha proje aşamasında iken doğal soğutma uygulanmasının avantajlı olup olmadığının belirlenmesi ve sağlıklı bir yatırım kararı alınabilmesi önemlidir. Literatürde enerji tüketim ve geri dönüş hesaplamalarında kullanılan bin değerlerinin üretilmesi ile ilgili birçok araştırmacı tarafından çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda bin değerleri, uygulama türüne göre hem bölgesel hem de genel olarak hesaplanmıştır. Yine yapılan çalışmalarda bin değerleri hesaplanırken; iki, üç veya dört saat aralıklarla ölçülen sıcaklık tekrar sıklıkları esas alınmıştır [4]-[11].

Tablo 1'de meteorolojik verilere göre Pusat ve Ekmekçi tarafından oluşturulan ve bu çalışmaya esas teşkil edecek olan Türkiye'de iklim bölgelerini temsil eden sekiz ile ait bin değerleri verilmiştir [12].

Tablo 1. Türkiye'deki sekiz ile ait bin verileri [2].  
(Table 1. The bin data regarding eight provinces in Turkey)

Şehir	Isıtma derece-gün bölgesi (TSE2008)	Pusat ve Ekmekçi'ye göre iklim bölgesi (2010)	Yıllık Ort. Sic. (°C)	Günlük Ortalama güneşlenme Süresi (h)	Ölçüm Periyodu
İstanbul	2	Isıtma	15,0	6,1	1989-2006
Ankara	3	-	12,0	6,7	1989-2006
Trabzon	2	Soğutma	14,7	4,5	1989-2005
Van	4	-	9,2	7,8	1989-2007
Diyarbakır	2	Isıt/Soğut	15,8	7,7	1989-2008
Adana	1	-	19,1	7,4	1989-2008
Sivas	4	-	9,1	6,7	1989-2008
Denizli	2	Soğutma	16,2	7,2	1989-2006

İklimlendirme uygulamalarında doğal soğutma (free cooling), enerji tüketimlerinde önemli bir düşüş sağlamaktadır. Hava soğutmalı chillerlerin kullanım ve bakım kolaylığına karşılık, verim düşüklüğü ve işletme giderlerinin yüksekliği söz konusudur. Buna karşılık yıl boyu soğutma gereksinimi olan mevcut bir sistem kuru soğutucular ile desteklenerek doğal soğutma yapılabilir. Dış ortam sıcaklıklarının gerekli olan soğutma suyu sıcaklıklarının altına düşmesi ile birlikte doğal soğutma sistemleri kullanılır ve bu sayede önemli derecede enerji tasarrufu sağlanır [3], [13]-[14].

## 2. METOD (METHOD)

Yapılan çalışmada, kuru soğutucu ve hava soğutmalı chiller grubunun birlikte çalışması aşağıda yapılan kabuller doğrultusunda ele alınmıştır [14].

Soğutma gereksinimi olan tesis için;  $T_{\text{soğutma suyu gidiş}} = 8^{\circ}\text{C}$  şarta sahip bir proses suyu soğutma sistemi olarak kabul edilmiştir. Sistemde 365 gün boyunca günlük 24 saat soğutma istenmektedir. Sistemdeki toplam soğutma yükü 500 kW kabul edilmiştir. Hesaplamalar ve karşılaştırmalar; sekiz iklim bölgesini temsilen İstanbul, Ankara, Trabzon, Van, Diyarbakır, Adana, Sivas ve Denizli illeri için yapılmıştır. Enerji analizi için üç farklı çalışma senaryosu aşağıdaki gibi kurgulanmıştır;

**%100 Mekanik Soğutma** - Ortam havası sıcaklığı, soğutma suyu dönüş sıcaklığının üzerinde olduğu zamanlar %100 chiller çalışması gereklidir.  $T_{\text{ortam}} > 12^{\circ}\text{C}$  olduğu zaman mekanik soğutma bölgesine girilir. Kondenser fanları ve kompresör %100 yükte çalışmaktadır ve yüke uygun olarak aralıklı

olarak devreye girip çıkmaktadırlar. %100 mekanik soğutma yapıldığında kuru soğutucu çalışmamaktadır.

**Yük Paylaşımı Aralığı** -  $12^{\circ}\text{C} \geq T_{\text{ortam}} \geq 3^{\circ}\text{C}$  chiller ve kuru soğutucunun yük paylaşımını olarak çalıştıkları bölge olarak kabul edilmiştir. Ortam havası sıcaklığının dönüş suyu sıcaklığı en az  $2^{\circ}\text{C}$  altına düşmesi ile birlikte kuru soğutucu, ön soğutucu olarak çalışmaya başlamaktadır. Bunun sonucunda, dönüş suyu sıcaklığının düşmesi ile kompresör yükü de oransal olarak düşmektedir. Chiller kompresörünün oransal olarak kapasite kontrollü olduğu varsayılmış ve buna uygun chiller seçimi yapılmıştır. Ancak, hesaplamada kolaylık açısından belirli sıcaklıklar ve bu sıcaklıklara karşılık gelen oranlar kullanılmıştır. Oransal kontrol ile kazancın bir miktar daha fazla olacağı dikkate alınmalıdır. Kuru soğutucu fanlarının adım (step) kontrollü olarak çalıştığı kabul edilmiştir.

**%100 Kuru Soğutucu Çalışma Aralığı** - Doğal soğutma bölgesi ortam havası sıcaklığı soğutma suyu gidiş sıcaklığının en az  $5^{\circ}\text{C}$  altında ve daha düşük sıcaklıklarda tamamen kuru soğutucu çalışır ancak chiller çalışmaz.

Kabul edilen soğutma yükünü karşılayacak kuru soğutucu, Friterm firmasının ürün seçim yazılımı kullanılarak %100 doğal soğutma şartlarına göre ve %34 etilen/glikol oranı ile C enerji sınıfı FDW 2E 91 29 D312 3QD (18 fanlı) olarak belirlenmiştir. Soğutma kapasitesi 507 kW ve toplam güç tüketimi 20,7 kW'dır. Chiller, 511 kW soğutma kapasiteli hava soğutmalı vidalı kompresörlü Carrier 30XA-502 seçilmiştir [15]. Kuru soğutucunun farklı giriş sıcaklıklarındaki kapasite hesabı sabit akışkan debisi ile yapılmıştır. Pompalama güçleri karşılaştırma hesabına katılmamıştır. Enerji analizinde kullanılan chiller/kuru soğutuya ait veriler Şekil 1'de gösterilmiştir.



Chiller Model	Carrier 30XA-502	Friterm Kuru Soğutucu	
Soğutucu Akışkan	R134A	Model	FDW 2E 9129 D312 3QD
Kompresör Tipi	Vidalı	Akışkan	Etilen Glikol %34
Soğutma Kapasitesi (kW)	511	Kapasite (kW)	507
Soğutma Grubu Gücü (kW)	155	Fan Sayısı	18
Kompresör gücü (kW)	141	Toplam Fan Gücü (kW)	20,7

Şekil 1. Enerji analizinde kullanılan chiller ve kuru soğutucuya ait veriler [15]. (Figure 1. Data used regarding chiller and dry cooler energy analysis)

Hesap aralığı,  $-6^{\circ}\text{C}/+33^{\circ}\text{C}$  olarak kabul edilmiştir. Kısmi bölge hesapları için kullanılan sıcaklık değerleri  $3/6^{\circ}\text{C}$  aralığı için  $5^{\circ}\text{C}$ ;  $6/9^{\circ}\text{C}$  aralığı için  $8^{\circ}\text{C}$ ;  $9/12^{\circ}\text{C}$  aralığı için  $11^{\circ}\text{C}$  olarak kabul edilmiştir [14]. Kısmi soğutma bölgesinde suyun kuru soğutucudan çıkış sıcaklığı yaklaşık olarak hava giriş sıcaklığı ile suyun kuru soğutucuya giriş sıcaklığının ortalaması olarak kabul edilmiştir. %100 mekanik soğutmada dış hava sıcaklığı  $12^{\circ}\text{C}$  ve altına indiğinde soğutucu akışkan basıncı kondenser çıkışında çok düşeceğinden, kondenser fanları kademeli olarak kapatılarak kondenser çıkışında basınç sabit tutulmaktadır.

Kısmi soğutma bölgesinde kullanılan sıcaklık aralıklarında kuru soğutucunun ön soğutma yapması vasıtası ile oransal olarak kontrol edilebilen chillere düşen yük, sırası ile %60, %40 ve %20 olmaktadır. Hava giriş sıcaklığının düşmesiyle birlikte kuru soğutucu fanları kademeli olarak devreden çıktığından fan güçleri azalmaktadır. Hesaplamalarda kullanılan kuru soğutucu/chillerin kapasite, güç ve yük paylaşım oranları Tablo 2'de gösterilmektedir.

Tablo 2. Kuru soğutucu/chillerin kapasite, güç ve yük paylaşım oranları. (Table 2. Capacity, power and load sharing rates of dry cooler / chiller)

Çalışma Bölgesi	Hava Giriş Sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ )	Kuru Soğutucu Kapasitesi (kW)	Kuru Soğutucu Gücü (kW)	Kuru Soğutucu Kapasite/Güç Oranı	Kuru Soğutucu Yüklü (%)	Chiller Kapasitesi (kW)	Chiller Gücü (kW)	Chiller Kapasite/Güç Oranı	Chiller Yüklü (%)	Kuru Soğ.+Chiller Güç (kW)	Sistem Toplam Soğutma Kapasitesi (kW)
%100 Mekanik	30/33	0	0	0	0	511	155	3,3	100	155	511
	27/30	0	0	0	0	511	142	3,6	100	142	511
	24/27	0	0	0	0	511	126	4,0	100	126	511
	21/24	0	0	0	0	511	111	4,6	100	111	511
	18/21	0	0	0	0	511	95	5,4	100	95	511
	15/18	0	0	0	0	511	79	6,5	100	79	511
	12/15	0	0	0	0	511	63	8,1	100	63	511
Kısmi	9/12	203	8	25	40	307	93	3,3	60	101	509
	6/9	304	13	24	60	204	62	3,3	40	75	509
	3/6	406	17	24	80	102	31	3,3	20	48	508
%100 Doğal	0/3	507	18	20	100	0	-	-	0	18	507
	-3/0	507	12	19	100	0	-	-	0	12	507
	-6/-3	507	6	17	100	0	-	-	0	6	507

Sonuç olarak, aşağıdaki tablolarda sekiz ile ait kuru soğutucu/chiller birlikte çalışma senaryoları sonucunda enerji kazancı ve geri dönüş sürelerine ilişkin veriler elde edilmiştir.

Tablo 3. İstanbul iline ait kuru soğutucu/chiller birlikte çalışma senaryosu  
(Table 3. Dry cooler/chiller operation scenario for İstanbul)

<i>İstanbul Bin Değerleri</i>	53	207	606	1075	998	1011	1112	863	1072	928	544	275	16	
Sıcaklık Aralığı (°C)	-6/-3	-3/0	0/3	3/6	6/9	9/12	12/15	15/18	18/21	21/24	24/27	27/30	30/33	
<i>%100 MEKANİK SOĞUTMA</i>														
Harcanan Enerji (kWh) *	30	40	50	65	75	85	95	105	115	125	135	145	155	
Harcanan Toplam Enerji (KWh)	1590	8280	30300	69875	74850	85935	105640	90615	123280	116000	73440	39875	2480	
Saatlik Enerji Bedeli (€/kWh)	0,10 €													
Enerji Bedeli (€)	159	828	3030	6988	7485	8594	10564	9062	12328	11600	7344	3988	248	
TOPLAM Enerji Bedeli	82.216 €													
	<i>KURU SOĞUTUCU</i>			<i>KURU SOĞUTUCU VE CHILLER</i>			<i>CHILLER</i>							
Harcanan Enerji (kWh)	6	12	18	48	75	101	63	79	95	111	126	142	155	
Harcanan Toplam Enerji (kWh)	305	2381	11150	51170	74501	102111	70278	68177	101626	102637	68762	39105	2480	
Saatlik Enerji Bedeli (€/kWh)	0,10 €													
Harcanan Enerji Bedeli (€)	30	238	1115	5117	7450	10211	7028	6818	10163	10264	6876	3911	248	
TOPLAM Harcanan Enerji Bedeli	69.468 €													
HESAPLAR	YILLIK KAZANÇ (EURO)					ENERJİ KAZANCI (%)					Geri Dönüş (Yıl)			
	12.748 €					16					5,9			
* Zamana bağlı bir yük profilimiz olmadığından, talep edilen soğutmanın zaman içinde sabit olduğunu kabul ettik. Dış hava değişimine göre enerji sarfiyatındaki değişim gözönüne alındı. Chiller kataloğundan min kapasite, tam kapasitenin en az %15 i (25 kW) olabilir bilgisi edinilmiştir.														
* Hesaplamalarda karşılanması gereken soğutma yükünün 24 saat boyunca sabit olduğu kabul edilmiştir.														
* Hesaplamalarda karşılanması gereken soğutma yükünün 24 saat boyunca sabit olduğu kabul edilmiştir. Chiller, dış tasarım sıcaklığı 35 C olduğundan en fazla 33 C ye kadar gidilmiştir.														

Tablo 4. Ankara iline ait kuru soğutucu/chiller birlikte çalışma senaryosu  
(Table 4. Dry cooler/chiller operation scenario for Ankara)

Ankara Bin Değerleri	264	593	944	987	753	666	835	905	717	707	532	366	250	
Sıcaklık Aralığı (°C)	-4/-7	-4/-1	-1/2	2/5	5/8	8/11	11/14	14/17	17/20	20/23	23/26	26/29	29/32	
<i>%100 MEKANİK SOĞUTMA</i>														
Harcanan Enerji (kWh) *	30	40	50	65	75	85	95	105	115	125	135	145	155	
Harcanan Toplam Enerji (KWh)	7920	23720	47200	64155	56475	56610	79325	95025	82455	88375	71820	53070	38750	
Saatlik Enerji Bedeli (€/kWh)	0,10 €													
Enerji Bedeli (€)	792	2372	4720	6416	5648	5661	7933	9503	8246	8838	7182	5307	3875	
TOPLAM Enerji Bedeli	76.490 €													
	<i>KURU SOĞUTUCU</i>			<i>KURU SOĞUTUCU VE CHILLER</i>			<i>CHILLER</i>							
Harcanan Enerji (kWh)	6	12	18	48	75	101	63	79	95	111	126	142	155	
Harcanan Toplam Enerji (kWh)	1518	6820	17370	46981	56211	67266	52772	71495	67972	78194	67245	52045	38750	
Saatlik Enerji Bedeli (€/kWh)	0,10 €													
Harcanan Enerji Bedeli (€)	152	682	1737	4698	5621	6727	5277	7150	6797	7819	6724	5205	3875	
TOPLAM Harcanan Enerji Bedeli	62.464 €													
HESAPLAR	YILLIK KAZANÇ (EURO)					ENERJİ KAZANCI (%)					Geri Dönüş (Yıl)			
	14.026 €					18					5,3			

Tablo 5. Trabzon iline ait kuru soğutucu/chiller birlikte çalışma senaryosu  
(Table 5. Dry cooler/chiller operation scenario for Trabzon)

Trabzon Bin Değerleri	0	114	418	1110	1314	991	797	994	1290	1107	477	129	14	
Sıcaklık Aralığı (°C)	-6/-3	-3/0	0/3	3/6	6/9	9/12	12/15	15/18	18/21	21/24	24/27	27/30	30/33	
%100 MEKANİK SOĞUTMA														
Harcanan Enerji (kWh) *	30	40	50	65	75	85	95	105	115	125	135	145	155	
Harcanan Toplam Enerji (KWh)	0	4560	20900	72150	98550	84235	75715	104370	148350	138375	64395	18705	2170	
Saatlik Enerji Bedeli (€/kWh)	0,10 €													
Enerji Bedeli (€)	0	456	2090	7215	9855	8424	7572	10437	14835	13838	6440	1871	217	
TOPLAM Enerji Bedeli	83.248 €													
	KURU SOĞUTUCU			KURU SOĞUTUCU/CHILLER			CHILLER							
Harcanan Enerji (kWh)	6	6	12	18	48	75	101	63	79	95	111	126	142	
Harcanan Toplam Enerji (kWh)	0	656	4807	20424	62546	73978	80497	62821	101910	104944	52756	16306	1991	
Saatlik Enerji Bedeli (€/kWh)	0,10 €													
Harcanan Enerji Bedeli (€)	0	66	481	2042	6255	7398	8050	6282	10191	10494	5276	1631	199	
TOPLAM Harcanan Enerji Bedeli	58.364 €													
HESAPLAR	YILLIK KAZANÇ (EURO)					ENERJİ KAZANCI (%)					Geri Dönüş (Yıl)			
	24.884 €					30					3,0			

Tablo 6. Van iline ait kuru soğutucu/chiller birlikte çalışma senaryosu  
(Table 6. Dry cooler/chiller operation scenario for Van)

Van Bin Değerleri	463	742	889	906	990	893	618	637	678	624	520	266	22	
Sıcaklık Aralığı (°C)	-6/-3	-3/0	0/3	3/6	6/9	9/12	12/15	15/18	18/21	21/24	24/27	27/30	30/33	
%100 MEKANİK SOĞUTMA														
Harcanan Enerji (kWh) *	30	40	50	65	75	85	95	105	115	125	135	145	155	
Harcanan Toplam Enerji (KWh)	13890	29680	44450	58890	74250	75905	58710	66885	77970	78000	70200	38570	3410	
Saatlik Enerji Bedeli (€/kWh)	0,10 €													
Enerji Bedeli (€)	1389	2968	4445	5889	7425	7591	5871	6689	7797	7800	7020	3857	341	
TOPLAM Enerji Bedeli	69.081 €													
	KURU SOĞUTUCU			KURU SOĞUTUCU VE CHILLER			CHILLER							
Harcanan Enerji (kWh)	6	6	12	18	48	75	101	63	79	95	111	126	142	
Harcanan Toplam Enerji (kWh)	2662	4267	10224	16670	47124	66662	62418	40258	53562	59155	57512	33622	3128	
Saatlik Enerji Bedeli (€/kWh)	0,10 €													
Harcanan Enerji Bedeli (€)	266	427	1022	1667	4712	6666	6242	4026	5356	5916	5751	3362	313	
TOPLAM Harcanan Enerji Bedeli	45.727 €													
HESAPLAR	YILLIK KAZANÇ (EURO)					ENERJİ KAZANCI (%)					Geri Dönüş (Yıl)			
	23.354 €					34					3,2			

Tablo 7. Diyarbakır iline ait kuru soğutucu/chiller birlikte çalışma senaryosu  
(Table 7. Dry cooler/chiller operation scenario for Diyarbakır)

Diyarbakır Bin Değerleri	243	354	701	722	822	703	794	685	610	628	558	490	477	
Sıcaklık Aralığı (°C)	-7/-4	-4/-1	-1/2	2/5	5/8	8/11	11/14	14/17	17/20	20/23	23/26	26/29	29/32	
%100 MEKANİK SOĞUTMA														
Harcanan Enerji (kWh) *	30	40	50	65	75	85	95	105	115	125	135	145	155	
Harcanan Toplam Enerji (KWh)	7290	14160	35050	46930	61650	59755	75430	71925	70150	78500	75330	71050	73935	
Saatlik Enerji Bedeli (€/kWh)	0,10 €													
Enerji Bedeli (€)	729	1416	3505	4693	6165	5976	7543	7193	7015	7850	7533	7105	7394	
TOPLAM Enerji Bedeli	74.116 €													
	KURU SOĞUTUCU			KURU SOĞUTUCU VE CHILLER			CHILLER							
Harcanan Enerji (kWh)	6	12	18	48	75	101	63	79	95	111	126	142	155	
Harcanan Toplam Enerji (kWh)	1397	4071	12898	34367	61362	71003	50181	54115	57828	69457	70531	69678	73935	
Saatlik Enerji Bedeli (€/kWh)	0,10 €													
Harcanan Enerji Bedeli (€)	140	407	1290	3437	6136	7100	5018	5412	5783	6946	7053	6968	7394	
TOPLAM Harcanan Enerji Bedeli	63.082 €													
HESAPLAR	YILLIK KAZANÇ (EURO)					ENERJİ KAZANCI (%)					Geri Dönüş (Yıl)			
	11.033 €					15					6,8			

Tablo 8. Adana iline ait kuru soğutucu/chiller birlikte çalışma senaryosu  
(Table 8. Dry cooler/chiller operation scenario for Adana)

Adana Bin Değerleri	0	23	78	338	925	1056	862	928	901	871	985	907	603	
Sıcaklık Aralığı (°C)	-6/-3	-3/0	0/3	3/6	6/9	9/12	12/15	15/18	18/21	21/24	24/27	27/30	30/33	
%100 MEKANİK SOĞUTMA														
Harcanan Enerji (kWh) *	30	40	50	65	75	85	95	105	115	125	135	145	155	
Harcanan Toplam Enerji (KWh)	0	920	3900	21970	69375	89760	81890	97440	103615	108875	132975	131515	93465	
Saatlik Enerji Bedeli (€/kWh)	0,10 €													
Enerji Bedeli (€)	0	92	390	2197	6938	8976	8189	9744	10362	10888	13298	13152	9347	
TOPLAM Enerji Bedeli	93.570 €													
	KURU SOĞUTUCU			KURU SOĞUTUCU VE CHILLER			CHILLER							
Harcanan Enerji (kWh)	6	12	18	48	75	101	63	79	95	111	126	142	155	
Harcanan Toplam Enerji (kWh)	0	265	1435	16089	69051	106656	54478	73312	85415	96333	124504	128975	93465	
Saatlik Enerji Bedeli (€/kWh)	0,10 €													
Harcanan Enerji Bedeli (€)	0	26	144	1609	6905	10666	5448	7331	8541	9633	12450	12898	9347	
TOPLAM Harcanan Enerji Bedeli	84.998 €													
HESAPLAR	YILLIK KAZANÇ (EURO)					ENERJİ KAZANCI (%)					Geri Dönüş (Yıl)			
	8.572 €					9					8,7			

Tablo 9. Sivas iline ait kuru soğutucu/chiller birlikte çalışma senaryosu  
(Table 9. Dry cooler/chiller operation scenario for Sivas)

Sivas Bin Değerleri	726	675	687	796	836	913	869	741	608	394	323	199	88	
Sıcaklık Aralığı (°C)	-6/-3	-3/0	0/3	3/6	6/9	9/12	12/15	15/18	18/21	21/24	24/27	27/30	30/33	
<i>%100 MEKANİK SOĞUTMA</i>														
Harcanan Enerji (kWh) *	30	40	50	65	75	85	95	105	115	125	135	145	155	
Harcanan Toplam Enerji (KWh)	21780	27000	34350	51740	62700	77605	82555	77805	69920	49250	43605	28855	13640	
Saatlik Enerji Bedeli (€/kWh)	0,10 €													
Enerji Bedeli (€)	2178	2700	3435	5174	6270	7761	8256	7781	6992	4925	4361	2886	1364	
TOPLAM Enerji Bedeli	64.081 €													
	<i>KURU SOĞUTUCU</i>			<i>KURU SOĞUTUCU VE CHILLER</i>			<i>CHILLER</i>							
Harcanan Enerji (kWh)	6	12	18	48	75	101	63	79	95	111	126	142	155	
Harcanan Toplam Enerji (kWh)	4175	7763	12641	37890	62407	92213	54921	58539	57638	43576	40827	28298	13640	
Saatlik Enerji Bedeli (€/kWh)	0,10 €													
Harcanan Enerji Bedeli (€)	417	776	1264	3789	6241	9221	5492	5854	5764	4358	4083	2830	1364	
TOPLAM Harcanan Enerji Bedeli	51.453 €													
HESAPLAR	YILLIK KAZANÇ (EURO)					ENERJİ KAZANCI (%)					Geri Dönüş (Yıl)			
	12.628 €					20					5,9			

Tablo 10. Denizli iline ait kuru soğutucu/chiller birlikte çalışma senaryosu  
(Table 10. Dry cooler / chiller operation scenario for Denizli)

Denizli Bin Değerleri	0	74	392	790	983	1041	768	685	792	891	881	653	417	
Sıcaklık Aralığı (°C)	-4/-7	-4/-1	-1/2	2/5	5/8	8/11	11/14	14/17	17/20	20/23	23/26	26/29	29/32	
<i>%100 MEKANİK SOĞUTMA</i>														
Harcanan Enerji (kWh) *	30	40	50	65	75	85	95	105	115	125	135	145	155	
Harcanan Toplam Enerji (KWh)	0	2960	19600	51350	73725	88485	72960	71925	91080	111375	118935	94685	64635	
Saatlik Enerji Bedeli (€/kWh)	0,10 €													
Enerji Bedeli (€)	0	296	1960	5135	7373	8849	7296	7193	9108	11138	11894	9469	6464	
TOPLAM Enerji Bedeli	86.172 €													
	<i>KURU SOĞUTUCU</i>			<i>KURU SOĞUTUCU VE CHILLER</i>			<i>CHILLER</i>							
Harcanan Enerji (kWh)	6	12	18	48	75	101	63	79	95	111	126	142	155	
Harcanan Toplam Enerji (kWh)	0	851	7213	37604	73381	105141	48538	54115	75082	98545	111358	92857	64635	
Saatlik Enerji Bedeli (€/kWh)	0,10 €													
Harcanan Enerji Bedeli (€)	0	85	721	3760	7338	10514	4854	5412	7508	9854	11136	9286	6464	
TOPLAM Harcanan Enerji Bedeli	76.932 €													
HESAPLAR	YILLIK KAZANÇ (EURO)					ENERJİ KAZANCI (%)					Geri Dönüş (Yıl)			
	9.240 €					11					8,1			

Sekiz ile ait olan farklı çalışma senaryolarına göre elde edilen bulgular grafik ortamda gösterilmiş ve değerlendirilmiştir.

### 3. BULGULAR (RESULTS)

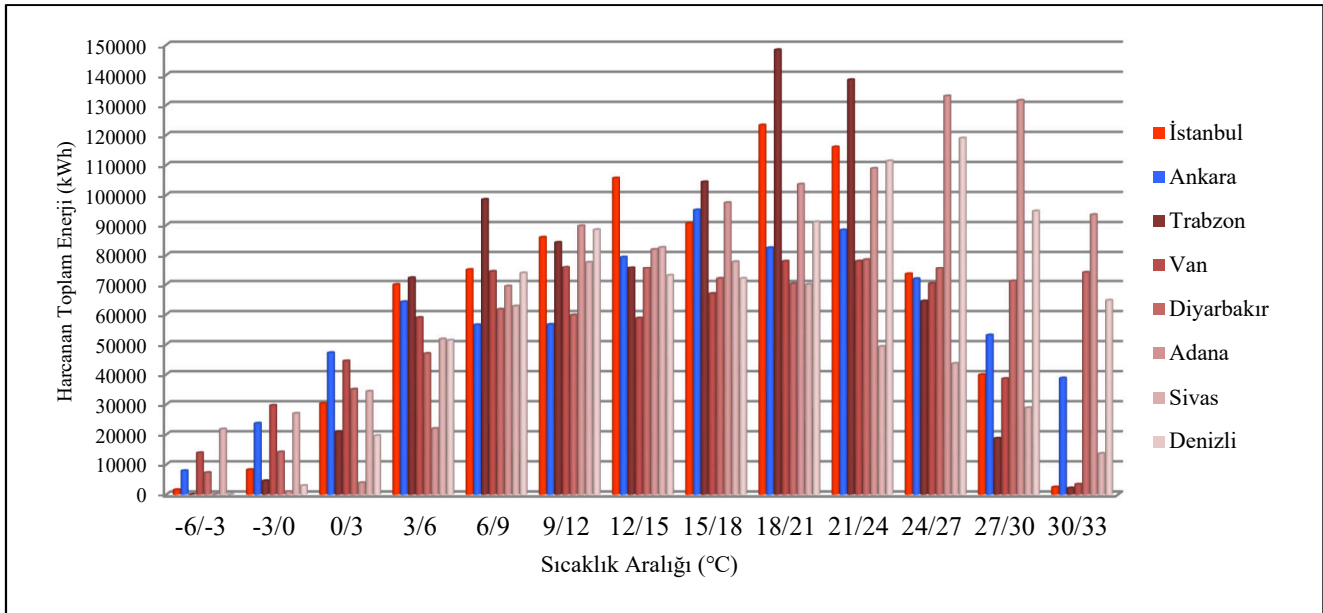
Bu bölümde, yıllık enerji tüketim değerlerine bağlı olarak karşılaştırmalar yapılmıştır. Tablo 11’de %100 mekanik soğutma ve chiller-kuru soğutucu ikilisinin beraber çalışma senaryoları sonucunda elde edilen enerji tüketimleri gösterilmiştir.

Tablo 11. Sekiz ile ait bin değerlerine göre %100 mekanik soğutma ve chiller-kuru soğutucu ikilisinin beraber çalışma senaryoları sonucunda elde edilen enerji tüketimleri (kWh/Yıl). (Table 11. According to the bin values of the eight provinces, energy consumptions obtained as a result of 100% mechanical refrigeration and co-operating scenario of the chiller-dry cooler pair (kWh/Year))

<b>%100 Mekanik Soğutma</b>													
Sıcaklık Aralığı (°C)	-6/-3	-3/0	0/3	3/6	6/9	9/12	12/15	15/18	18/21	21/24	24/27	27/30	30/33
<b>İstanbul</b>													
Harcanan Toplam Enerji -İSTANBUL (kWh)	1590	8280	30300	69875	74850	85935	105640	90615	123280	116000	73440	39875	2480
<b>Ankara</b>													
Harcanan Toplam Enerji-ANKARA (kWh)	7920	23720	47200	64155	56475	56610	79325	95025	82455	88375	71820	53070	38750
<b>Trabzon</b>													
Harcanan Toplam Enerji-TRABZON (kWh)	0	4560	20900	72150	98550	84235	75715	104370	148350	138375	64395	18705	2170
<b>Van</b>													
Harcanan Toplam Enerji-VAN (kWh)	13890	29680	44450	58890	74250	75905	58710	66885	77970	78000	70200	38570	3410
<b>Diyarbakır</b>													
Harcanan Toplam Enerji-DİYARBAKIR (kWh)	7290	14160	35050	46930	61650	59755	75430	71925	70150	78500	75330	71050	73935
<b>Adana</b>													
Harcanan Toplam Enerji-ADANA (kWh)	0	920	3900	21970	69375	89760	81890	97440	103615	108875	132975	131515	93465
<b>Sivas</b>													
Harcanan Toplam Enerji-SİVAS (kWh)	21780	27000	34350	51740	62700	77605	82555	77805	69920	49250	43605	28855	13640
<b>Denizli</b>													
Harcanan Toplam Enerji-DENİZLİ (kWh)	0	2960	19600	51350	73725	88485	72960	71925	91080	111375	118935	94685	64635
<b>Kuru Soğutucu + Chiller</b>													
Sıcaklık Aralığı (°C)	-6/-3	-3/0	0/3	3/6	6/9	9/12	12/15	15/18	18/21	21/24	24/27	27/30	30/33
<b>İstanbul</b>													
Harcanan Toplam Enerji (kWh)	305	2381	11150	51170	74501	102111	70278	68177	101626	102637	68762	39105	2480
<b>Ankara</b>													
Harcanan Toplam Enerji (kWh)	1518	6820	17370	46981	56211	67266	52772	71495	67972	78194	67245	52045	38750
<b>Trabzon</b>													
Harcanan Toplam Enerji (kWh)	0	656	4807	20424	62546	73978	80497	62821	101910	104944	52756	16306	1991
<b>Van</b>													
Harcanan Toplam Enerji (kWh)	2662	4267	10224	16670	47124	66662	62418	40258	53562	59155	57512	33622	3128
<b>Diyarbakır</b>													
Harcanan Toplam Enerji (kWh)	1397	4071	12898	34367	61362	71003	50181	54115	57828	69457	70531	69678	73935
<b>Adana</b>													
Harcanan Toplam Enerji (kWh)	0	265	1435	16089	69051	106656	54478	73312	85415	96333	124504	128975	93465
<b>Sivas</b>													
Harcanan Toplam Enerji (kWh)	4175	7763	12641	37890	62407	92213	54921	58539	57638	43576	40827	28298	13640
<b>Denizli</b>													
Harcanan Toplam Enerji (kWh)	0	851	7213	37604	73381	105141	48538	54115	75082	98545	111358	92857	64635

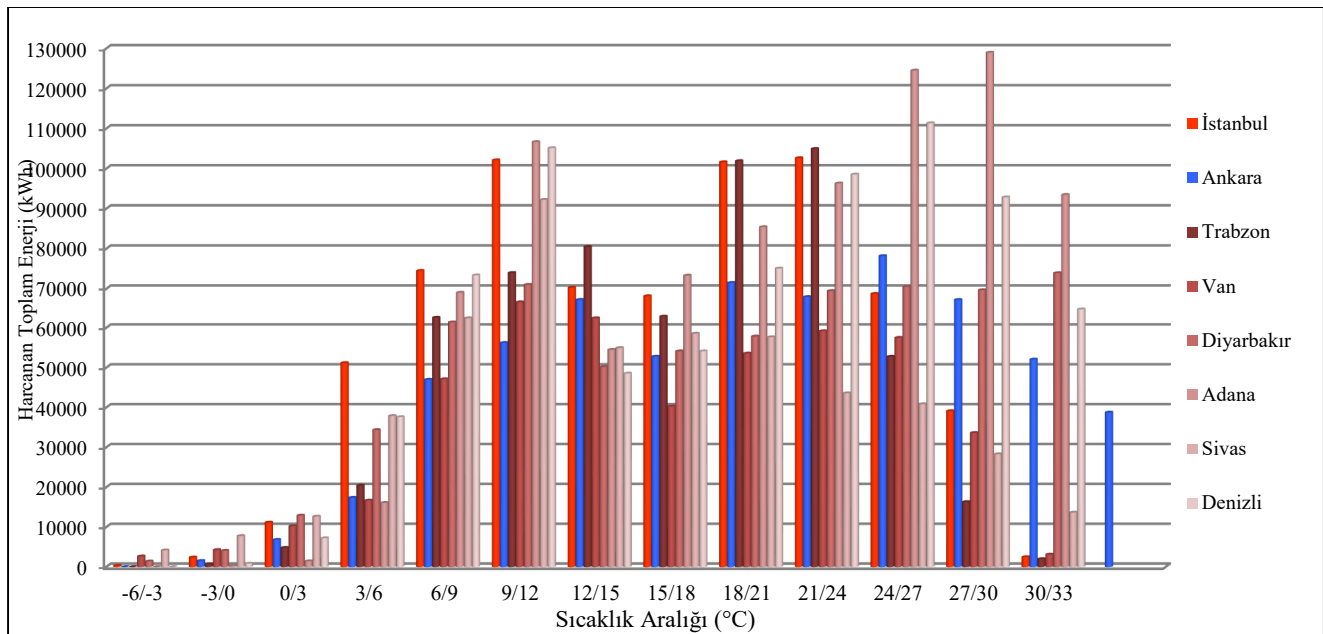


Tablo 11’de bulunan değerlere göre, sekiz ilin %100 mekanik soğutma yapılması durumunda yıllık enerji tüketimlerine göre karşılaştırmaları Şekil 2’de gösterilmektedir.



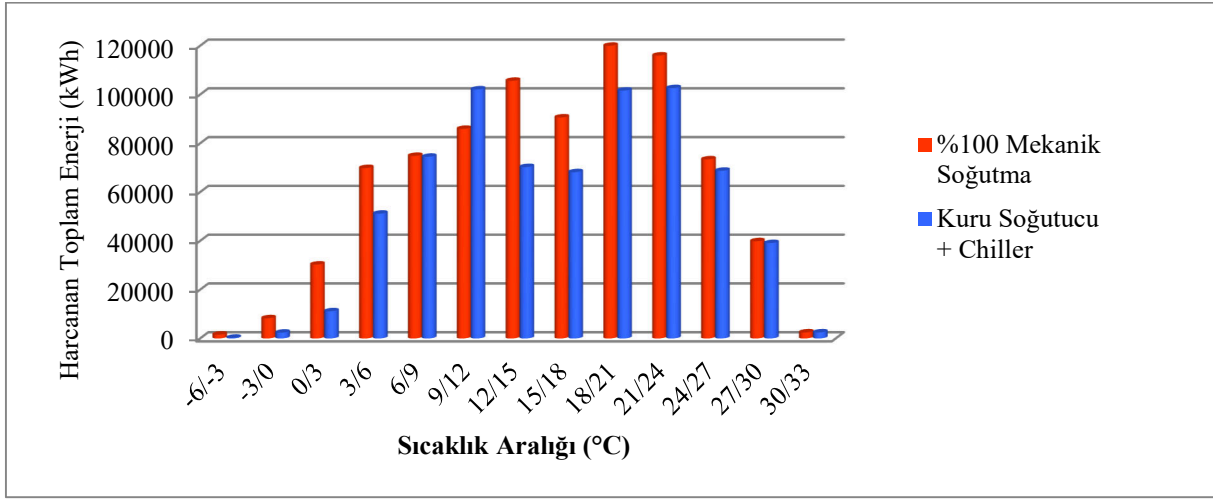
Şekil 2. Sekiz ilin %100 mekanik soğutmada enerji kıyaslaması  
(Figure 2. Energy comparison of eight provinces at 100% mechanical refrigeration)

Tablo 11’de bulunan değerlere göre, sekiz ilin kuru soğutucu-chiller birlikte çalışması durumundaki yıllık enerji tüketimlerine göre karşılaştırmaları Şekil 3’de gösterilmektedir.



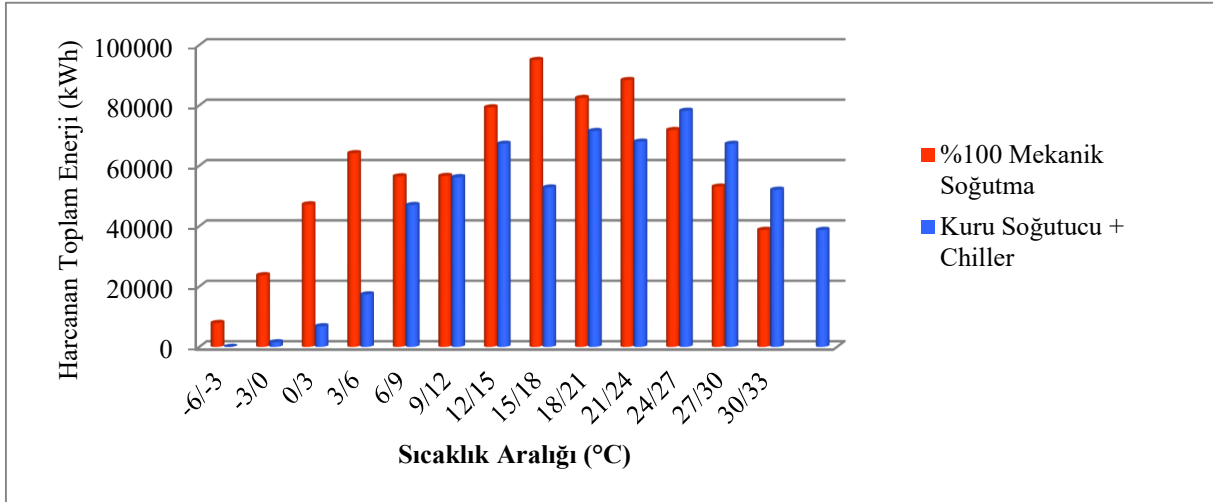
Şekil 3. Sekiz ilin Kuru Soğutucu+Chiller Enerji Karşılaştırması  
(Figure 3. Dry Cooler + Chiller Energy Comparisons of eight provinces)

Şekil 2 ve Şekil 3’de görüleceği üzere, sekiz ilin tamamında 3-12 °C dış ortam sıcaklıklarında kuru soğutucu-chiller birlikte çalışması durumunda, yıllık olarak %100 mekanik soğutmaya (chiller) göre ortalama %12 daha az enerji tüketimi gerçekleşmiştir. İşletme senaryosu gereği,  $T_{ortam} > 12^{\circ}\text{C}$  olduğu zaman mekanik soğutma bölgesine girildiğinden sadece chiller çalışacaktır. 12 – 33 °C dış ortam sıcaklıklarında aynı enerji analizi sekiz il için yapıldığında % 23 daha az enerji tüketimi gerçekleşmiştir. Aşağıdaki şekillerde sekiz ilin ait yıllık enerji tüketim değerleri bin değerlerine göre ayrı ayrı gösterilmiştir.



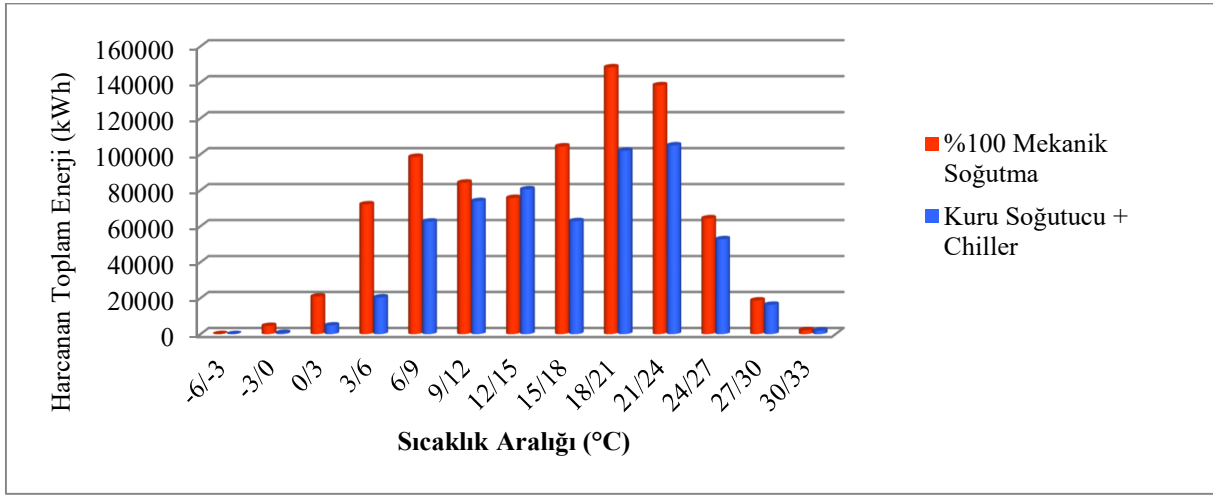
Şekil 4. İstanbul ili için %100 Mekanik Soğutma ve Chiller+Kuru Soğutucu Çalışma Karşılaştırılması  
(Figure 4. Comparison of 100% Mechanical Refrigeration and Chiller + Dry Cooler Operation for Istanbul)

Şekil 4’de görüleceği üzere, 3-12°C dış ortam sıcaklıklarında kuru soğutucu-chiller birlikte çalışması durumunda, yıllık olarak %100 mekanik soğutmaya (chiller) göre ortalama % 1 daha az enerji tüketimi gerçekleşmiştir. İşletme senaryosu gereği,  $T_{ortam} > 12^{\circ}\text{C}$  olduğu zaman mekanik soğutma bölgesine girildiğinden sadece chiller çalışacaktır. 12 – 33°C dış ortam sıcaklıklarında İstanbul için aynı enerji analizi yapıldığında % 22 daha az enerji tüketimi gerçekleşmiştir.



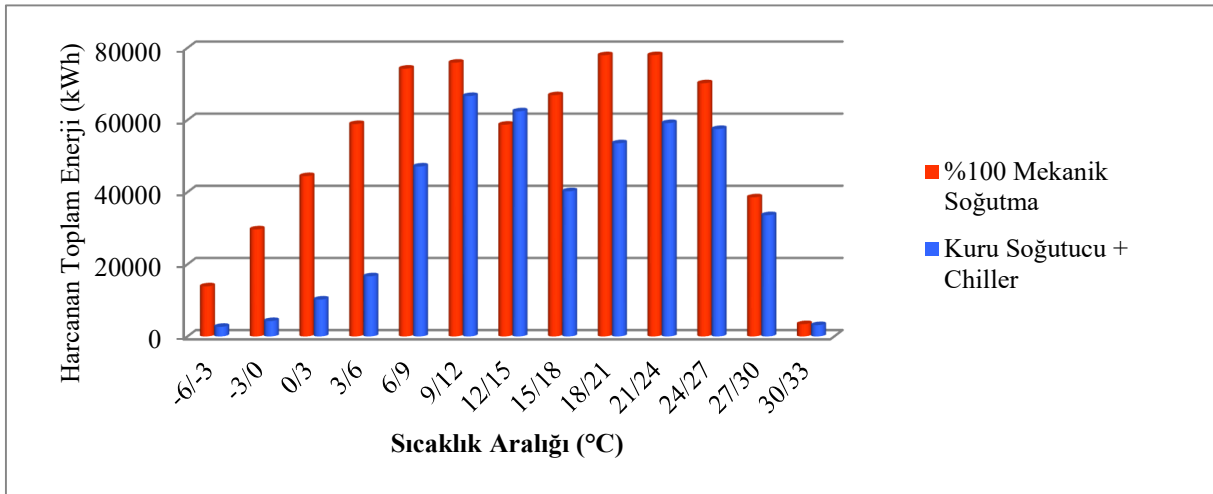
Şekil 5. Ankara ili için %100 Mekanik Soğutma ve Chiller+Kuru Soğutucu Çalışma Karşılaştırılması  
(Figure 5. Comparison of 100% Mechanical Refrigeration and Chiller + Dry Cooler Operation for Ankara)

Şekil 5’de Ankara’da görüleceği üzere, 3-12°C dış ortam sıcaklıklarında kuru soğutucu-chiller birlikte çalışması durumunda, yıllık olarak %100 mekanik soğutmaya (chiller) göre ortalama % 4 daha az enerji tüketimi gerçekleşmiştir. İşletme senaryosu gereği,  $T_{ortam} > 12^{\circ}\text{C}$  olduğu zaman mekanik soğutma bölgesine girildiğinden sadece chiller çalışacaktır. 12 – 33 °C dış ortam sıcaklıklarında Ankara için aynı enerji analizi yapıldığında % 19 daha az enerji tüketimi gerçekleşmiştir.



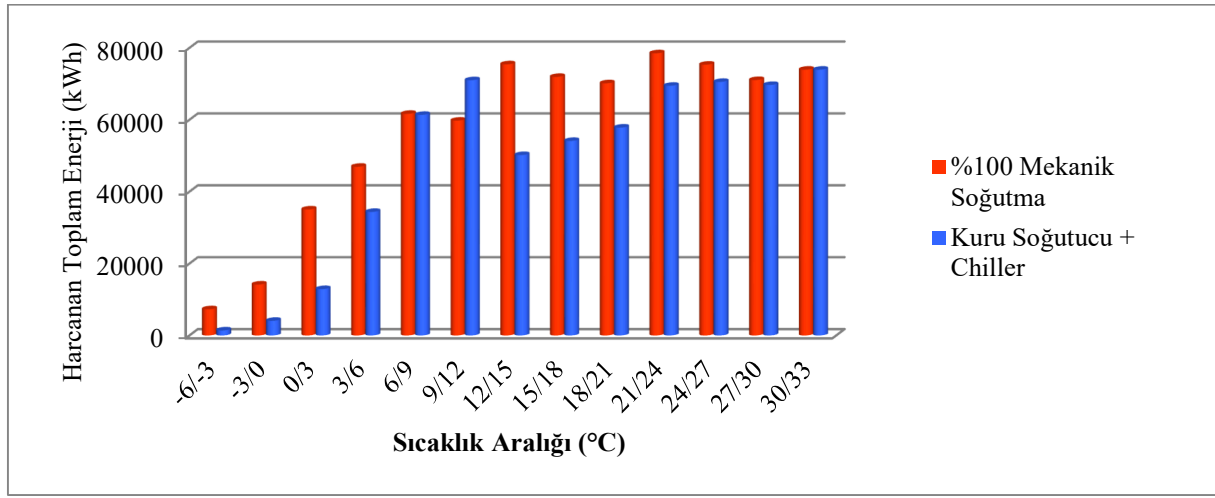
Şekil 6. Trabzon ili için %100 Mekanik Soğutma ve Chiller+Kuru Soğutucu Çalışma Karşılaştırılması  
(Figure 6. Comparison of 100% Mechanical Refrigeration and Chiller + Dry Cooler Operation for Trabzon)

Şekil 6'da görüleceği üzere, 3-12 °C dış ortam sıcaklıklarında kuru soğutucu-chiller birlikte çalışması durumunda, yıllık olarak %100 mekanik soğutmaya (chiller) göre ortalama % 60 daha az enerji tüketimi gerçekleşmiştir. İşletme senaryosu gereği,  $T_{ortam} > 12^{\circ}\text{C}$  olduğu zaman mekanik soğutma bölgesine girildiğinden sadece chiller çalışacaktır. 12 – 33 °C dış ortam sıcaklıklarında Trabzon için aynı enerji analizi yapıldığında % 31 daha az enerji tüketimi gerçekleşmiştir.



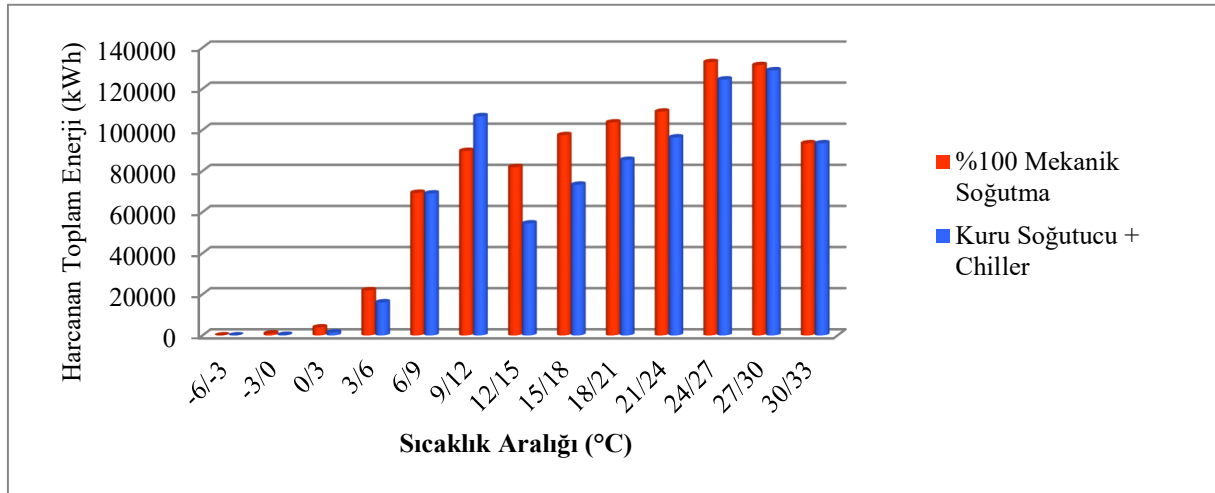
Şekil 7. Van ili için %100 Mekanik Soğutma ve Chiller+Kuru Soğutucu Çalışma Karşılaştırılması  
(Figure 7. Comparison of 100% Mechanical Refrigeration and Chiller + Dry Cooler Operation for Van)

Şekil 7'de görüleceği üzere, 3-12 °C dış ortam sıcaklıklarında kuru soğutucu-chiller birlikte çalışması durumunda, yıllık olarak %100 mekanik soğutmaya (chiller) göre ortalama % 60 daha az enerji tüketimi gerçekleşmiştir. İşletme senaryosu gereği,  $T_{ortam} > 12^{\circ}\text{C}$  olduğu zaman mekanik soğutma bölgesine girildiğinden sadece chiller çalışacaktır. 12 – 33 °C dış ortam sıcaklıklarında Van için aynı enerji analizi yapıldığında % 27 daha az enerji tüketimi gerçekleşmiştir.



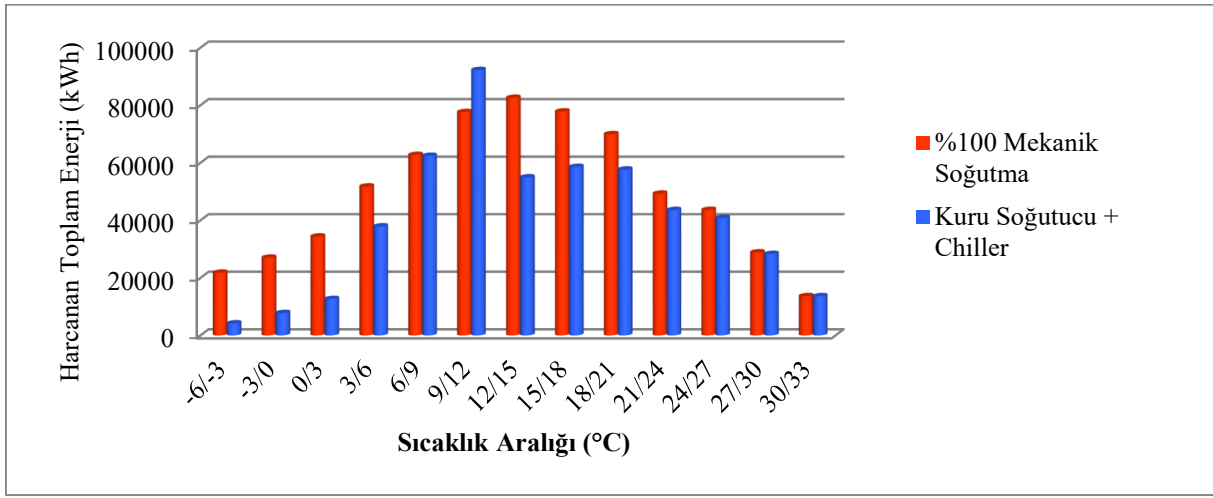
Şekil 8. Diyarbakır ili için %100 Mekanik Soğutma ve Chiller+Kuru Soğutucu Çalışma Karşılaştırılması  
(Figure 8. Comparison of 100% Mechanical Refrigeration and Chiller + Dry Cooler Operation for Diyarbakır)

Şekil 8’de görüleceği üzere, 3-12 °C dış ortam sıcaklıklarında kuru soğutucu-chiller birlikte çalışması durumunda, yıllık olarak %100 mekanik soğutmaya (chiller) göre ortalama % 1 daha az enerji tüketimi gerçekleşmiştir. İşletme senaryosu gereği,  $T_{ortam} > 12^{\circ}\text{C}$  olduğu zaman mekanik soğutma bölgesine girildiğinden sadece chiller çalışacaktır. 12 – 33 °C dış ortam sıcaklıklarında Diyarbakır için aynı enerji analizi yapıldığında % 16 daha az enerji tüketimi gerçekleşmiştir.



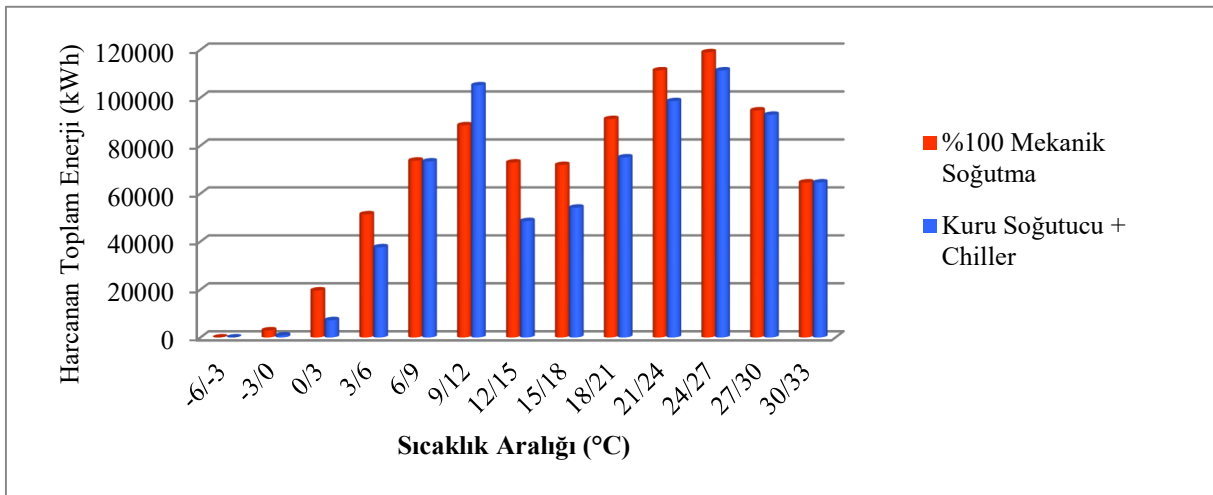
Şekil 9. Adana ili için %100 Mekanik Soğutma ve Chiller+Kuru Soğutucu Çalışma Karşılaştırılması  
(Figure 9. Comparison of 100% Mechanical Refrigeration and Chiller + Dry Cooler Operation for Adana)

Şekil 9’da görüleceği üzere, 3-12 °C dış ortam sıcaklıklarında kuru soğutucu-chiller birlikte çalışması durumunda, yıllık olarak %100 mekanik soğutmaya (chiller) göre ortalama % 1 daha az enerji tüketimi gerçekleşmiştir. İşletme senaryosu gereği,  $T_{ortam} > 12^{\circ}\text{C}$  olduğu zaman mekanik soğutma bölgesine girildiğinden sadece chiller çalışacaktır. 12 – 33 °C dış ortam sıcaklıklarında Adana için aynı enerji analizi yapıldığında % 14 daha az enerji tüketimi gerçekleşmiştir.



Şekil 10. Sivas ili için %100 Mekanik Soğutma ve Chiller+Kuru Soğutucu Çalışma Karşılaştırılması  
(Figure 10. Comparison of 100% Mechanical Refrigeration and Chiller + Dry Cooler Operation for Sivas)

Şekil 10’da görüleceği üzere, 3-12 °C dış ortam sıcaklıklarında kuru soğutucu-chiller birlikte çalışması durumunda, yıllık olarak %100 mekanik soğutmaya (chiller) göre ortalama % 1 daha az enerji tüketimi gerçekleşmiştir. İşletme senaryosu gereği,  $T_{ortam} > 12^{\circ}\text{C}$  olduğu zaman mekanik soğutma bölgesine girildiğinden sadece chiller çalışacaktır. 12 – 33 °C dış ortam sıcaklıklarında Sivas için aynı enerji analizi yapıldığında % 23 daha az enerji tüketimi gerçekleşmiştir.



Şekil 11. Denizli ili için %100 Mekanik Soğutma ve Chiller+Kuru Soğutucu Çalışma Karşılaştırılması  
(Figure 11. Comparison of 100% Mechanical Refrigeration and Chiller + Dry Cooler Operation for Denizli)

Şekil 11’de görüleceği üzere, 3-12 °C dış ortam sıcaklıklarında kuru soğutucu-chiller birlikte çalışması durumunda, yıllık olarak %100 mekanik soğutmaya (chiller) göre ortalama % 1 daha az enerji tüketimi gerçekleşmiştir. İşletme senaryosu gereği,  $T_{ortam} > 12^{\circ}\text{C}$  olduğu zaman mekanik soğutma bölgesine girildiğinden sadece chiller çalışacaktır. 12 – 33 °C dış ortam sıcaklıklarında Denizli için aynı enerji analizi yapıldığında % 15 daha az enerji tüketimi gerçekleşmiştir.

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Sekiz il için bin değerlerine dayalı olarak enerji analizleri yapılarak, sadece mekanik soğutma ve chiller+kuru soğutucunun beraber çalıştığı işletme koşullarında ilgili tablolarda karşılaştırmalı sonuçlara yer verilmiştir.

Tablolarda her ilin ayrı ayrı geri ödeme süreleri, enflasyon ve mevcut faiz oranlarından bağımsız olarak hesaplanmıştır. Tüm bu iller için ortalama geri ödeme süresinin 5,8 yıl olduğu görülmüştür. Soğutma sisteminin kurulu olduğu veya kurulacağı bölgenin iklim koşulları ile istenen soğutma suyu sıcaklıkları doğal soğutmadan elde edilebilecek faydanın belirlenmesinde en önemli unsurlardır. Yıl boyu soğutma suyu kullanan ve mevcut bir hava soğutmalı chiller sistemi olan tesisler için gerekli soğutma yükünü karşılayacak bir kuru soğutucu seçilerek, bu entegrasyon sonucundaki enerji maliyetleri karşılaştırılmıştır.

Sonuç olarak, yoğun enerji tüketiminin olduğu konfor/endüstriyel soğutma tesislerinde, sürdürülebilir çevre ve işletme maliyetlerinin azaltılması açısından kuru soğutucuların çok önemli bir katkı sağladığı görülmüştür.

#### KAYNAKÇA (REFERENCES)

- [1] H. Acül, “Kuru Soğutuculu Doğal Soğutma Uygulamaları ile İklimlendirme Sistemlerinde Enerji Verimliliği”, *IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi (Teskon)*, İzmir, 1999, pp. 83-114.
- [2] Ş. Pusat, İ. Ekmekçi, M.T. Akkoyunlu, “Generation of typical meteorological year for different climates of Turkey”, *Renewable Energy*, vol.75, pp.144-151, 2015.
- [3] K. İsa, A. Onat, “İklimlendirme Soğutma Sistemlerinde Enerji Verimliliği”, Friterm Yayınları, İstanbul, ISBN: 978-975-6263-22-8, 2012.
- [4] Ö. Özyurt, K. Bakirci, S. Erdoğan, M. Yılmaz, “Bin weather data for the provinces of the Eastern Anatolia in Turkey”, *Renewable Energy*, Vol. 34, No. 5, pp.1319–1332, 2009.
- [5] M. Kensarin, K. Kamola, “Energy saving potential in the residential sector of Uzbekistan”, *Energy*, 32(8), 1319–25, 2007.
- [6] Z. Jin, W. Yezheng, Y. Gang, “A stochastic method to generate bin weather data in Nanjing, China”, *Energy Conversion and Management*, Vol. 47, Nos. 13–14, pp.1843–1850, 2006.
- [7] O. Büyükalaca, H. Bulut, “Detailed weather data for the provinces covered by the Southeastern Anatolia Project (GAP) of Turkey”, *Applied Energy*, Vol. 77, No. 2, pp.187–204, 2004.
- [8] H. Bulut, O. Büyükalaca, T. Yılmaz, “Binalarda Enerji Tüketiminin Sıcaklık Aralığı (Bin) Yöntemi ile Belirlenmesi”, *II. Doğalgaz & Enerji Yönetimi Kongresi*, Gaziantep, pp.193-207, 2003.
- [9] H. Bulut, O. Büyükalaca, T. Yılmaz, “Bin weather data for Turkey”, *Applied Energy*, Vol. 70, No. 2, pp.135–155, 2001.
- [10] K.T. Papakostas, B.A. Sotiropoulos, “Bin weather data of Thessaloniki, Greece”, *Renewable Energy*, Vol. 11, No. 1, pp.69–76, 1997.
- [11] K.T. Papakostas, “Bin weather data of Athens, Greece”. *Renewable Energy*, 17:265–75, 1999.
- [12] Ş. Pusat, İ. Ekmekçi, “A study on degree-regions of Turkey”, *Energy Efficiency*, 9(2), 525-532, 2016.
- [13] K. İsa, “Plastik Endüstrisinde Soğutma Sistemleri ve Uygulamaları”, Friterm Yayınları, İstanbul, ISBN: 978-975-6263-32-7, 2017.
- [14] K. İsa, Ü. Güngör, S. Aydın, “İstanbul ve Konya İçin Chiller-Kuru Soğutucu Çiftinin Enerji Analizi”, *Termoklima Dergisi*, İstanbul, pp.116-121, Temmuz 2016.
- [15] Alarko-Carrier A.Ş., *Carrier 30XA Hava Soğutmalı Chiller Ürün Seçim Kitabı*, 2017.