

**Makale  
(Article)**

## **Binaların Isı Merkezlerinde Kullanılan Sirkülasyon Pompalarının Su Basınç ve Enerji Tüketimi için Regresyon Analizi**

**Okan KON\*, Bedri YÜKSEL\***

\* Balıkesir Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi  
Makine Mühendisliği Bölümü Çağış Kampüsü/BALIKESİR  
[okan@balikesir.edu.tr](mailto:okan@balikesir.edu.tr), [byuksel@balikesir.edu.tr](mailto:byuksel@balikesir.edu.tr)

### **Özet**

Binaların ısı merkezlerinde kullanılan ısıtma ve soğutma sistemlerindeki sirkülasyon pompaları çok sayıda olmaları ve uzun süreli kullanılmaları nedeniyle önemli ölçüde enerji tüketimlerine sahiptirler. Pompaların enerji tüketimlerinin tespitinde su basınçları ve elektrik enerjisi tüketimlerinin bilinmesi önemlidir. Çalışmada, örnek alınan yedi katlı binanın ısı merkezine yerleştirilen deney düzeneğindeki, ısıtma ve soğutma sistemi sirkülasyon pompalarının basınç transmitterleri ile giriş-çıkış basınçları ve elektronik sayaç ile elektrik tüketimleri ölçülmüştür. Böylece pompaların belirli aralıklarda su basınç ve elektrik enerjisi tüketimi ölçülerek veriler kayıt edilmiştir. Daha sonra çalışma süreleri boyunca pompaların günlük ortalama giriş basıncı, çıkış basıncı ve giriş-çıkış basınç farkları bulunmuştur. Çalışmada pompaların, ölçülen giriş basıncı ve çıkış basıncı ile giriş-çıkış basınç farkı ve elektrik enerjisi tüketimleri arasında regresyon analizi yapılarak birbirlerine bağlı 6.dereceden polinom fonksiyonu denklemleri elde edilmiştir. Bu denklemlerin regresyon katsayıları en yüksek değerdedir. Bu sayede bu binanın ısıtma ve soğutma tesisatlarındaki pompalar için giriş basıncı, çıkış basıncı ve giriş-çıkış basınç farkları ile elektrik tüketimleri arasında ilişkilerden ileriye dönük olarak basınç ve elektrik enerjisi tüketimi tahmini yapılabilir.

**Anahtar Kelimeler:** Sirkülasyon Pompaları, Regresyon Analizi, Isıtma ve Soğutma Tesisatları

## **A Regression Analysis for Energy Consumption and Water Pressure of The Circulation Pumps Used in Heating Plants in Buildings**

### **Abstract**

Circulation pumps that are used in both heating and cooling systems in heating plants of the buildings have significant energy consumption due to the large number of installations and long-term use. It is important to know about the water pressure and power consumption of the pumps for determining the energy consumption of pumps. In this study, the experimental setup was placed at the heating plant of the seven-storey building, and input/output pressure measurement of the circulation pumps' was performed using the pressure transmitters, while power consumption measurement was done with an electronic meter. Thus, the data of water pressure and power consumption of the pumps were recorded in certain ranges. During the operating time pumps daily average input pressure, output pressure and so, input-output pressure difference were found. In the study, a regression analysis performed between measured input-output pressure difference and power consumption, and 6th degree polynomial function equations was obtained. The regression coefficients of these equations have the highest value. By this means, pressure and power consumption of pumps that are used in this building's heating and cooling installations can be estimated with the relations of input pressure, output pressure and input-output pressure difference with power consumption.

**Keywords:** Circulation Pumps, Regression Analysis, Heating and Cooling Installations.

*Bu makaleye atf yapmak için*

Kon O., Yüksel B., "Binaların Isı Merkezlerinde Kullanılan Sirkülasyon Pompalarının Su Basınç ve Enerji Tüketimi için Regresyon Analizi" Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi 2014 (11) 27-39

*How to cite this article*

Kon O., Yüksel B., "A Regression Analysis for Energy Consumption and Water Pressure of The Circulation Pumps Used in Heating Plants in Buildings" Electronic Journal of Machine Technologies, 2014 (11) 27-39

## 1. GİRİŞ

Pompalar, mekanik enerjiyi akış enerjisine çeviren iş makineleri olarak tanımlanır [1]. Kalorifer tesisatlarında pompaların seçimleri hem iyi ısınma ve hem de elektrik enerjisi tüketimi yönünden önemlidir. Bu tesisatlar da dolaşım pompası olarak santrifüj pompalar kullanılır ve elektrik motoru ile tahrik edilirler. Santrifüj pompalarda, emiş ağzından emilen su, dönen çarka göbekten girer ve merkezkaç kuvvet ile artan bir hız ile dışarıya akarak basıncı yükselir [2]. Santrifüj pompalar, bütün endüstriyel pompaların % 80'ini oluşturmaktadır [3].

Büyük miktarda enerji tüketen ülkelerin toplam enerji tüketimleri ile pompalarda harcanan elektrik enerjisi tüketim miktarları Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** 2010 Yılı için Elektrik Enerjisi Tüketim Tahmini [4]

Ülke	Toplam TWh/yıl	Pompalar TWh/yıl	Toplam içinde Pompa %
İngiltere	362	49	13.5
Avrupa	2800	308	11
ABD	4055	405	10
Çin	1856	148	8
Diğer	7285	190	3
Dünya Toplamı	16358	1100	6.7

Tablo 1'de İngiltere de pompalardaki elektrik enerjisi tüketimi toplam elektrik enerjisi tüketiminin % 13.5 dir. Bu oran Avrupa da % 11 iken, ABD 'de % 10'dur. Dünyada toplam elektrik enerjisi tüketiminin % 6.7 'si pompalar tarafından tüketilmektedir.

Pompalarda enerji tüketimini azaltmak için; pompa kapasitesi ve pompaların giriş-çıkış basınç farkları olabildiğince düşük olmalıdır, pompaların verim oranları olabildiğince yüksek olmalıdır [5]. Pompalar, genellikle giriş-çıkış basıncı ve akış oranı ile kontrol edilir [6].

Her ne kadar pompa tasarımları, temel tasarım kitaplarında yer alan ampirik denklemlere dayalı olarak gerçekleştirilse de tasarımı gerçekleştirilen pompanın deneylerle desteklenmesi gerekmektedir. Bu nedenle pompa deneylerinde kullanılan cihaz ve ekipmanların hassasiyetleri de oldukça önem taşımaktadır. Basınç ölçümlerinde manometreler yerine basınç transducerlerinin veya transmitterlerinin, debi ölçümlerinde ise sabit hacim tankları, savak, orifis metre ve venturimetre yerine ultrasonik veya manyetik tip debi ölçer kullanımı önerilebilir. Şebeke bilgilerinin tespiti için de ampermetre ve voltmetre yerine şebeke analizörü kullanmanın faydalı olacağı söylenebilir [7].

Bir pompa seçimi yapılırken en etkin ve verimli sistemi seçebilmek için sürecin ihtiyacının tam olarak bilinmesi gerekir. Sistemin yıl boyunca debi-zaman aralığı ve basma yüksekliği çok iyi bilinmelidir. Ekonomik açıdan da sistemin zamanın çoğunda hangi kapasitede çalışacağı tespit edilmelidir [8].

Literatür çalışmasına bakılırsa; Sungur C. ve Bal G. yaptıkları çalışmada, geleneksel yöntemle deney yapan test ünitesiyle, geliştirilen bilgisayar destekli pompa test ünitesinden elde edilen ölçme sonuçlarının karşılaştırılmasını yapmışlar ve bilgisayar destekli deney ünitesinin üstünlüğünü ortaya konmuşlardır. Temel prensiplerin sağlanmasını amaçlayan, geleneksel ölçme yöntemleri ve analog ölçü aletlerinin yerine günümüz şartlarına uygun bilgisayar destekli ve ölçüm hataları çok düşük olan elektronik ölçü

aletleri ile donatılmış bir test ünitesi geliştirmişlerdir [1]. Yumurtacı Z. ve Sarıgül A. yaptıkları çalışmada, elektrik enerjisinin yoğun olarak kullanıldığı pompa sistemlerinde enerji tasarrufunun nasıl yapılacağı konusunu uygulama örnekleri ile göstermişlerdir [9]. Korkmaz E., Gölçü M. ve Kurbanoglu C. yaptıkları çalışmada; dalgıç pompa karakteristiklerinin belirlenmesi için basma yüksekliği, debi, efektif güç ve motor dönme hızı ölçüm ve kontrolünde kullanılan yeni teknolojileri incelemişlerdir. Bu amaçla yüksek hassasiyetli ölçme ve kontrol cihazlarının kullanıldığı dalgıç pompa test ünitesi kurulmuştur. Kullanılan program sayesinde pompa karakteristikleri bilgisayar destekli olarak elde edilmiştir. Ayrıca, şebeke gerilimi ve motor devrindeki değişimlerin pompa karakteristikleri üzerindeki olumsuz etkilerinin nasıl giderilebileceğini de ortaya koymuşlardır [7]. Kaya D., ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, büyük endüstri tesislerde kullanılan pompalarda enerji verimliliği incelemişlerdir. Bunun için akış oranı, basınç ve sıcaklık her bir pompa için maksimum yükte ve farklı operasyon şartlarında ölçülerek elektrik motorunun gücü tespit edilmiştir. Enerji tasarrufu, her bir pompa ve elektrik motoru için hesaplanan sonuçlar dikkate alınarak yapmıştır. Bu iyileştirmeler için gerekli yatırım maliyeti belirlenmiştir [10]. Ahonen T. ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, pompa çalışmasında iki modele dayalı metod sunmuşlardır. Tahmin metodlarının doğruluğu analiz edilmiştir. Metodların uygulanabilirliği, iki pilot montajdaki testler ve laboratuvar ölçümleri ile doğrulanmıştır. Test sonuçları, pompa çalışması ve analizlerinin uygulanabilir olduğunu göstermiştir. Bu metodlar ile eğer pompa verimsiz kullanılıyor ise kullanıcılara bilgi verilebilmektedir [6]. Fahlen P., Voll H. ve Naumov J. yaptıkları çalışmada, HVAC sistemlerinin fan ve pompa teknolojilerinin kullanımları konusunda enerji tasarrufu olasılık hesapları ve basit ölçümler vasıtasıyla incelemeler yapmışlardır. Enerji tasarruf fırsatları, evsel ısı pompaları üzerine pompa verimleri ve kontrolü basit laboratuvar ölçümleri sonuçları ile incelemişlerdir [11]. Catalina T., Virgone J. ve Blanco E. yaptıkları çalışmada, enerji etkin çözümlerin bulunmasında, destekleyici araçlar olarak dizayn mühendisleri ve mimarlar tarafından kullanılmasında amacı ile, sıcak iklimlerde tek aileli konut sektörü için aylık ısıtma talebi tahmininin regresyon modeli geliştirmesi çalışmasını sunmuşlardır. Basitleştirilmiş modelin kullanılmasıyla bina yapısı ve ekonomik ya da çevresel kriteri optimize etmek için hızlı parametrik çalışma olasılıkları tespit edilmiştir. Bütün enerji tahmin modelleri Fransa'daki 16 büyük şehir için dinamik simülasyon ile elde edilen veri tabanına dayanır. Regresyon modeli için girişler, bina U (Isı Transfer Katsayısı) değeri, bina şekil faktörü, pencere döşeme alanı oranı, bina sabitleri, iklim (güneş hava sıcaklığı ve ısıtma set noktası) dir. 270 farklı senaryo analiz edilmiştir. Modeller çoklu regresyon analizi ile elde edilmiştir [12]. Kon O. yaptığı doktora çalışmasında, tesisatlar da kullanılan sirkülasyon pompalarının enerji tüketimlerinin ve verimlerinin, ölçümler yapılarak gerçek değerlerini tespit etmiştir. Ömür boyu maliyet analizi ile ölçülen ve teorik enerji tüketiminin, 10 ve 20 yıllık dönemler için maliyet analizi sonuçlarını vermiştir [13].

Bu çalışmada, örnek alınan binanın tesisatındaki pompalar için ileriye dönük olarak giriş ve çıkış basıncı ile giriş-çıkış basınç farkları ve elektrik tüketimini tespit etmek amacıyla ölçümlere bağlı regresyon modeli geliştirilmiştir. Bu modelde regresyon katsayısı en yüksek olan 6. dereceden  $f(x)=ax^6+bx^5+cx^4+dx^3+ex^2+fx+g$  şeklindeki polinom fonksiyonları kullanılmıştır. Ölçüm yapmak için ısı merkezine deney düzeneği yerleştirilmiştir. Deney düzeneği ile ısıtma ve soğutma tesisatında kullanılan sirkülasyon pompalarının giriş basıncı, çıkış basıncı, giriş-çıkış basıncı farkı ve elektrik enerjisi tüketimi ölçülerek kayıt edilmiştir. Isıtma sisteminde toplam 107 iş günü, soğutma sisteminde toplam 63 iş günü ölçüm yapılmıştır. Ölçümlerde basınç transmitteri ve elektronik sayaç kullanılmıştır.

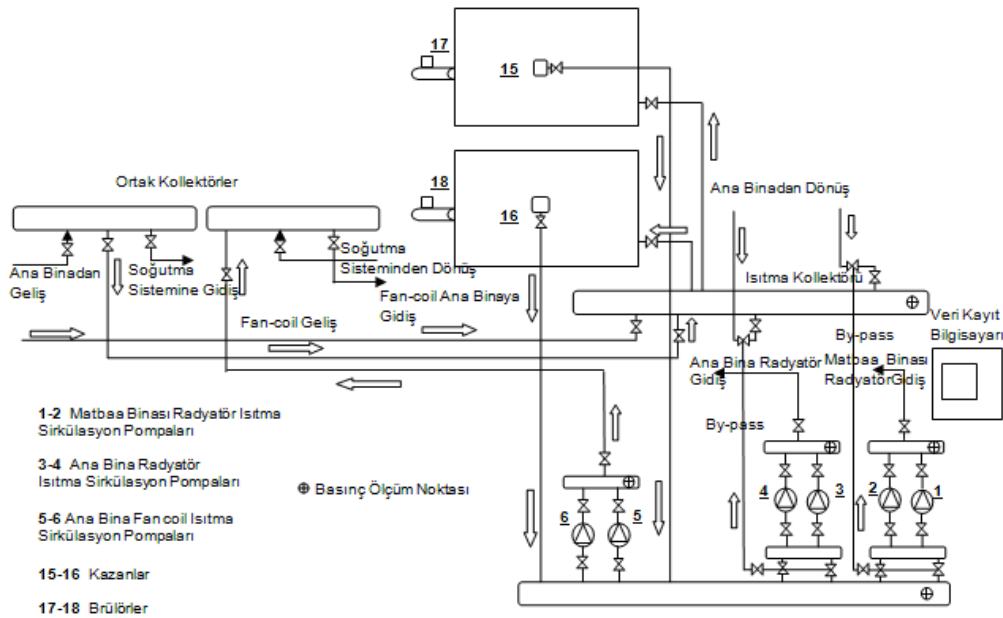
## 2. MATERYAL VE METOD

Tablo 2'de ısıtma ve soğutma sisteminde kullanılan 6 çift (3 ısıtma için 3 soğutma için) sirkülasyon (santrifüj) pompaların ve ona bağlı motorlarının etiket değerleri verilmiştir. Şekil 1 ve Şekil 2'de ısıtma ve soğutma tesisatlarının şemaları sunulmuştur. Bu şemalarda sistemin genel elemanları ile pompaların konumu ve basınç ölçerlerin (transmitterlerin) montaj edildikleri yerler gösterilmiştir. Ayrıca ısıtma ve

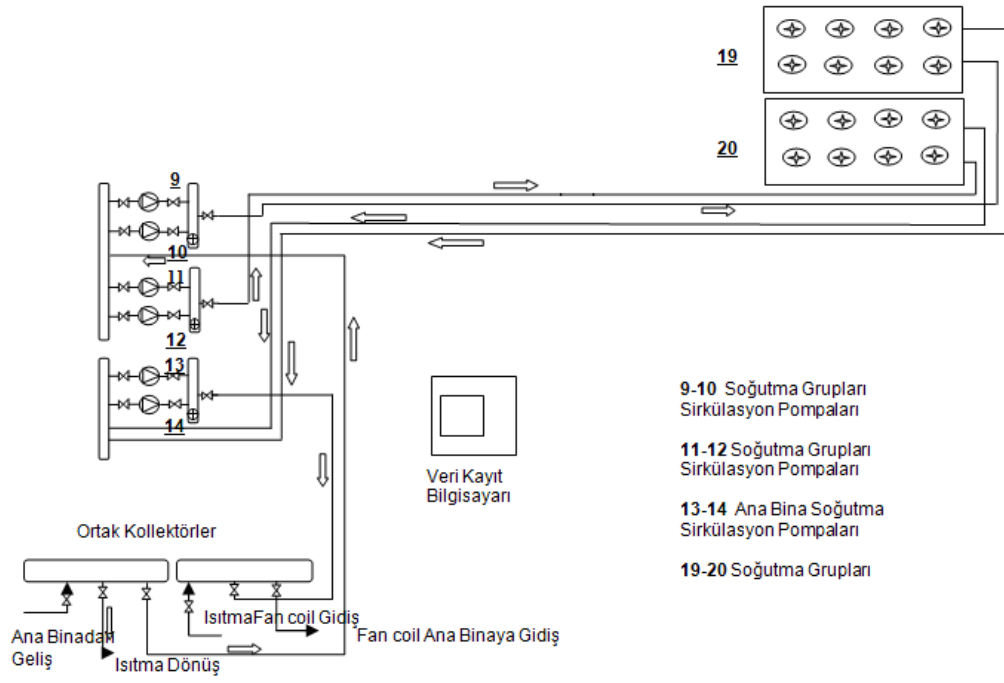
soğutma sistemlerinin örnek binanın içinde nasıl dolaştıkları da verilmiştir. Şekil 3' ısıtma sistemi ve soğutma sistemi sirkülasyon pompalarının genel görünüşleri gösterilmiştir. Şekil 4'de ise basınç transmitterinin ve elektrik sayacının montaj resimleri gösterilmiştir. Basınç ölçerler boru için de 10 bar'a kadar ölçüm yapabilmektedir. Basınç ölçerler den mesai saatleri (sabah 8.30 akşam 17.00 arası) içinde 15 dakikada bir alınan değerlerin ortalamaları hesaplanarak günlük (107 gün ısıtma, 63 gün soğutma için) ortalama tespit edilmektedir. Basınç tranmitterleri ve sayaç'dan okunan değerler günlük değerler olarak bilgisayara kayıt edilmektedir. Örnek bina, yedi katlı ana bina ve tek katlı matbaa binasından oluşmaktadır. Örnek binanın ısıtma sisteminde fan-coiller ve radyatörler kullanılmaktadır. Soğutma sisteminde ise sadece fan-coiller kullanılmaktadır.

**Tablo 2.** Isıtma ve Soğutma Sistemi Sirkülasyon (Santrifüj) Pompaların Özellikleri [13]

Pompa Numarası	1-2 ve 3-4	5-6	9-10 ve 11-12	13-14
<b>Pompa</b>				
Güç (kW)	0.4	1.5	7.5	15
Devir Sayısı (dev/dak)	1400	1450	1450	1400
Basma Yüksekliği (mss)	5.5	9	16	16
Debi (m <sup>3</sup> /h)	4	28	96	180
Verim (%)	52	52	52	52
Pompa Çapı (mm)	140	210	235	280
<b>Motor</b>				
Güç (kW)	0.55	1.5	7.5	15
Cos Φ	0.74	0.77	0.81	0.85
Akım (A)	2.73/1.58	6.06/3.50	15.5/8.95	30.5/17.6
Voltaj (V)	220/380	220/380	380/660	380/660
Devir Sayısı (dev/dak)	1400	1410	1440	1450
Frekans (Hz)	50	50	50	50



**Şekil 1.** Isıtma Sistemi Tesisatı [13]



**Şekil 2.** Soğutma Sistemi Tesisatı [13]



(a)



(b)

**Şekil 3.** (a) Isıtma Sistemi (b) Soğutma Sistemi Sirkülasyon Pompaları Görünümü



(a)

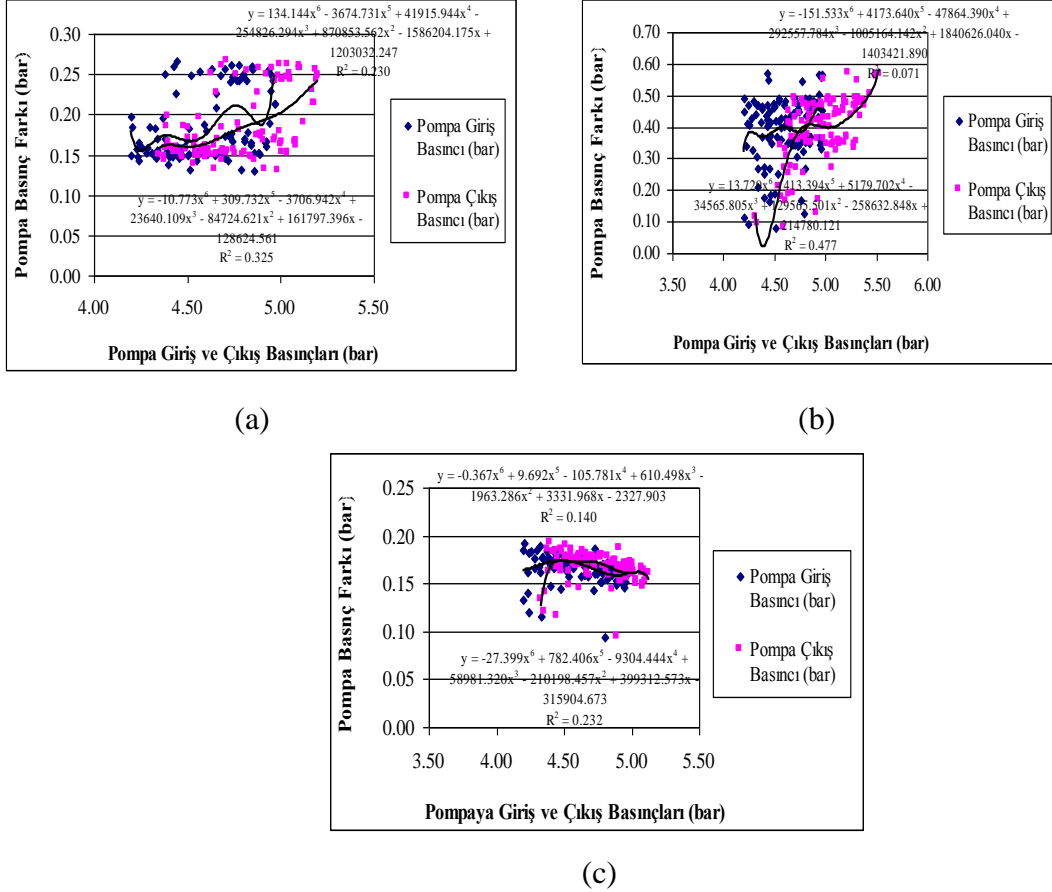


(b)

**Şekil 4.** (a) Basınç Transmitteri Montajı (b) Elektrik Sayacı Montajı [13]

### 3. BULGULAR

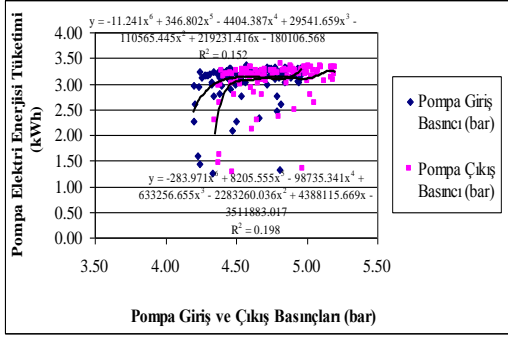
Şekil 5'te ısıtma sisteminde kullanılan, 1-2 no'lu, 3-4 no'lu ve 5-6 no'lu pompaların hem pompaya giriş ve hem de çıkış basınçlarına bağlı pompa giriş-çıkış basınç farkı arasındaki grafikler verilmiştir. Grafiklerde pompa hem giriş ve hem de çıkış basınçlarına bağlı basınç farkı için en yüksek regresyon katsayısı değerleri, 6. dereceden polinom fonksiyonu denklemlerinde elde edildiğinden bu fonksiyon için değerler verilmiştir.



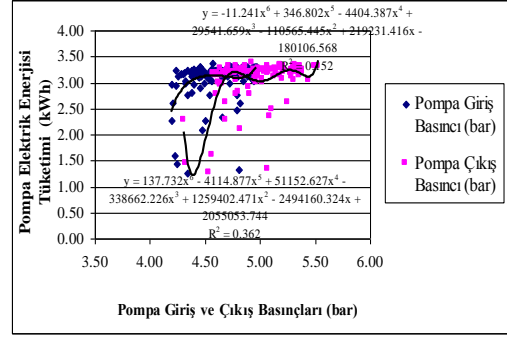
Şekil 5. Isıtma Sistemi (a) 1-2 No'lu Pompaların (b) 3-4 No'lu Pompaların (c) 5-6 No'lu Pompaların Pompa Giriş ve Çıkış Basınçlarına Bağlı Basınç Farkı

Şekil 6'da ısıtma sisteminde kullanılan, 1-2 no'lu, 3-4 no'lu ve 5-6 no'lu pompaların hem pompa giriş ve hem de çıkış basınçları ile pompaya giriş-çıkış basınç farklarına bağlı elektrik enerjisi tüketimleri arasındaki grafikler verilmiştir. Grafiklerde pompa giriş ve çıkış basınçlarına bağlı elektrik enerjisi tüketimi için en yüksek regresyon katsayısı değeri, 6. dereceden polinom fonksiyonu denklemlerinde elde edildiğinden bu fonksiyon için değerler verilmiştir.

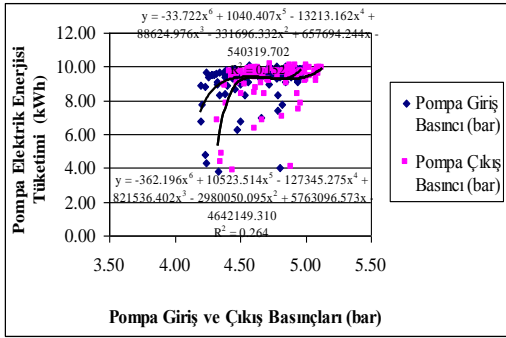
Şekil 7'de soğutma sisteminde kullanılan, 8-9 no'lu, 10-11 no'lu ve 12-13 no'lu pompaların hem pompa giriş ve hem de çıkış basınçlarına bağlı pompa basınç farkı arasındaki grafikler verilmiştir. Grafiklerde pompa giriş ve çıkış basınçlarına bağlı basınç farkı için en yüksek regresyon katsayısı değeri, 6. dereceden polinom fonksiyonu denklemlerinde elde edildiğinden bu fonksiyon için değerler verilmiştir.



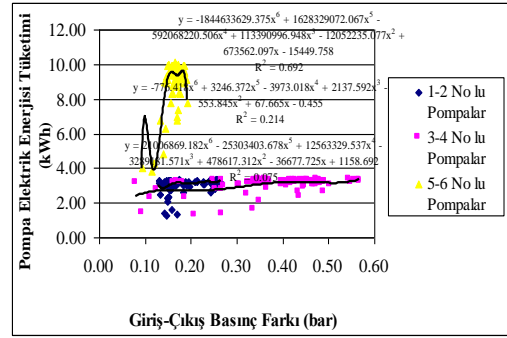
(a)



(b)

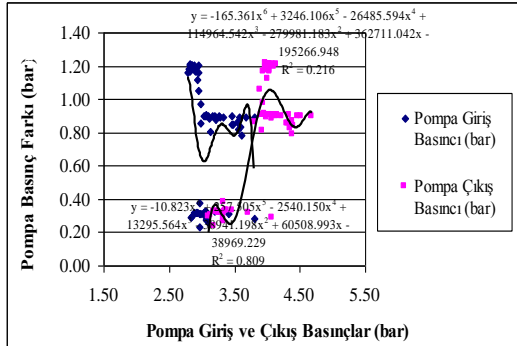


(c)

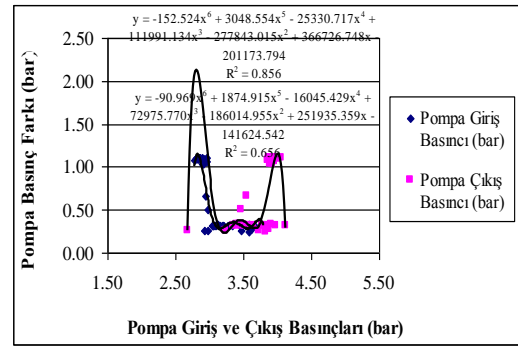


(d)

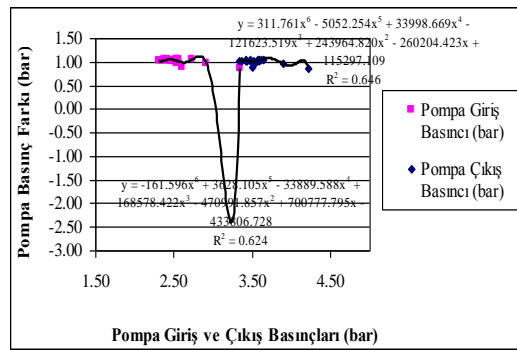
**Şekil 6.** Isıtma Sistemi (a) 1-2 No'lu Pompaların (b) 3-4 No'lu Pompaların (c) 5-6 No'lu Pompaların Pompa Giriş ve Çıkış Basınçlarına Bağlı Elektrik Enerjisi Tüketimi (d) 1-2,3-4,5-6 No'lu Pompaların Giriş-Çıkış Basınç Farkına Bağlı Elektrik Enerjisi Tüketimi



(a)



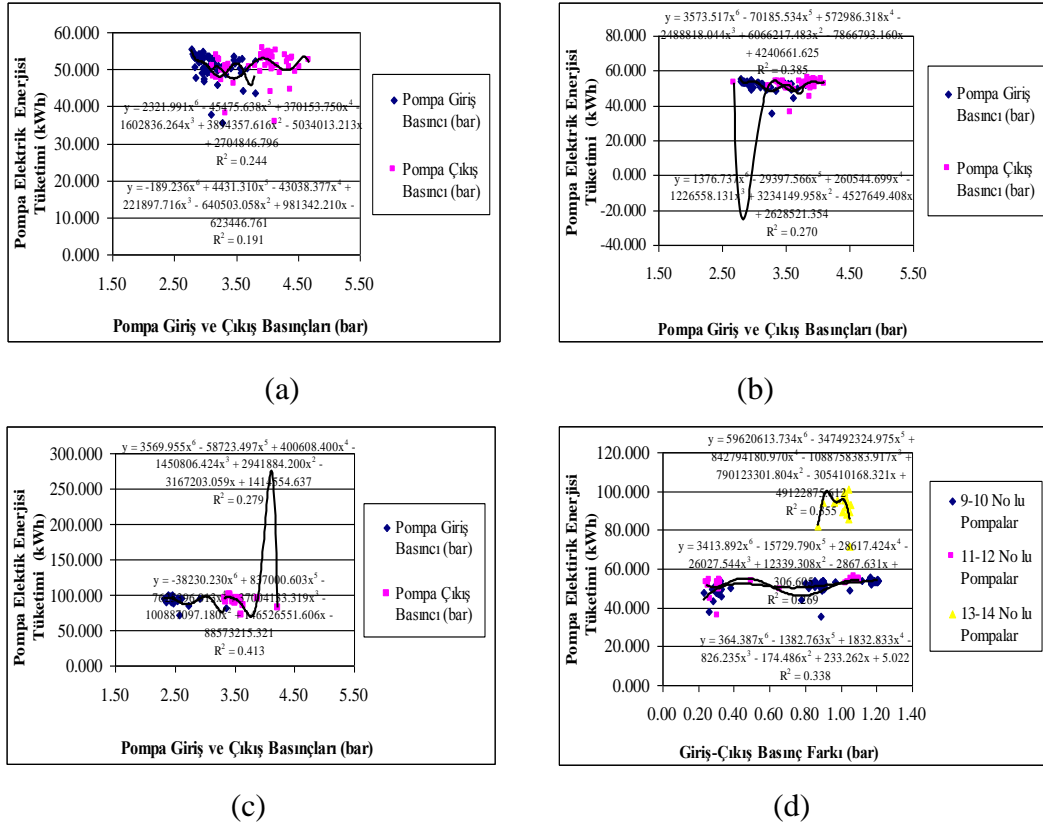
(b)



(c)

**Şekil 7.** Soğutma Sistemi (a) 9-10 No'lu Pompaların (b) 11-12 No'lu Pompaların (c) 13-14 No'lu Pompaların Pompa Giriş ve Çıkış Basınçlarına Bağlı Basınç Farkı

Şekil 8'de soğutma sisteminde kullanılan, 8-9 no'lu, 10-11 no'lu ve 12-13 no'lu pompaların hem pompa giriş ve hem de çıkış basınçları ile pompaya giriş-çıkış basınç farklarına bağlı elektrik enerjisi tüketimleri arasındaki grafikler verilmiştir. Grafiklerde pompa giriş ve çıkış basınçlarına bağlı elektrik enerjisi tüketimi için en yüksek regresyon katsayısı değeri, 6. dereceden polinom fonksiyonu denklemlerinde elde edildiğinden bu fonksiyon için değerler verilmiştir. Elektrik enerjisi tüketimi, günlük tüketim miktarını göstermektedir.



**Şekil 8.** Soğutma Sistemi (a) 9-10 No'lu Pompaların (b) 11-12 No'lu Pompaların (c) 13-14 No'lu Pompaların Pompa Giriş ve Çıkış Basınçlarına Bağlı Elektrik Enerjisi Tüketimi (d) 9-10,11-12,13-14 No'lu Pompaların Giriş-Çıkış Basıncına Bağlı Elektrik Enerjisi Tüketimi

Tablo 3 ve Tablo 4'de ısıtma ve soğutma tesisatında kullanılan pompaların giriş ve çıkış basınçlarına bağlı basınç farkı ve elektrik enerjisi tüketimi için regresyon analizindeki en yüksek regresyon katsayısı ( $R^2$ ) değeri için elde edilen 6. dereceden ( $f(x)=ax^6+bx^5+cx^4+dx^3+ex^2+fx+g$ ) polinom fonksiyonu denklemlerinin katsayıları ve ( $R^2$ ) değerleri verilmiştir. Tablo 5 ve Tablo 6'da ısıtma ve soğutma tesisatında kullanılan pompaların giriş-çıkış basınç farkına bağlı elektrik enerjisi tüketimi için regresyon analizindeki en yüksek regresyon katsayısı ( $R^2$ ) değeri için elde edilen 6. dereceden ( $ax^6+bx^5+cx^4+dx^3+ex^2+fx+g$ ) polinom fonksiyonu denklemlerinin katsayıları ve ( $R^2$ ) değerleri verilmiştir.



**Tablo 3.** Isıtma Tesisatında Kullanılan Pompaların Giriş ve Çıkış Basınçlarına Bağlı Basınç Farkı ve Elektrik Enerjisi Tüketimi için Regresyon Analizindeki Polinom Fonksiyonu Denklemlerinin Katsayıları

Basınçlar	Katsayılar							R <sup>2</sup>
	a	b	c	d	e	f	g	
<b>Basınç Farkı Denklemleri Katsayıları</b>								
1-2 No'lu Pompa Giriş Basıncı	134.144	-3674.731	41915.944	-254826.294	870853.562	-1586204.175	120332.247	0.230
1-2 No'lu Pompa Çıkış Basıncı	-10.773	309.732	-3706.942	23640.109	-84724.621	161797.396	-128624.561	0.325
3-4 No'lu Pompa Giriş Basıncı	-151.533	4173.640	-47864.390	292557.784	-1005164.142	1840626.040	-1403421.890	0.071
3-4 No'lu Pompa Çıkış Basıncı	13.729	-413.394	5179.702	-34565.805	129565.501	-258632.848	214780.121	0.477
5-6 No'lu Pompa Giriş Basıncı	-0.367	9.692	-105.781	610.498	1963.286	3331.968	-2327.903	0.140
5-6 No'lu Pompa Çıkış Basıncı	-27.399	782.406	-9304.444	58981.320	-210198.457	3999312.573	315904.673	0.232
<b>Elektrik Enerjisi Tüketimi Denklemleri Katsayıları</b>								
1-2 No'lu Pompa Giriş Basıncı	-11.241	346.802	-4404.387	29541.659	-110565.445	219231.416	-180106.568	0.152
1-2 No'lu Pompa Çıkış Basıncı	-283.971	8205.555	-98735.341	633256.655	-2283260.036	4388115.669	-3511883.017	0.198
3-4 No'lu Pompa Giriş Basıncı	-11.241	346.802	-4404.387	29541.659	-110565.445	2192231.416	-180106.568	0.152
3-4 No'lu Pompa Çıkış Basıncı	137.732	-4114.877	51152.627	338662.226	1259402.471	-2494160.324	2055053.744	0.362
5-6 No'lu Pompa Giriş Basıncı	-33.722	1040.407	-13213.162	88624.976	-331696.332	657694.244	-540319.702	0.152
5-6 No'lu Pompa Çıkış Basıncı	-362.196	10523.514	-127345.275	821536.402	-2980050.095	5763096.573	4642149.310	0.264

**Tablo 4.** Soğutma Tesisatında Kullanılan Pompaların Giriş ve Çıkış Basınçlarına Bağlı Basınç Farkı ve Elektrik Enerjisi Tüketimi için Regresyon Analizindeki Polinom Fonksiyonu Denklemlerinin Katsayıları

Basınçlar	Katsayılar							R <sup>2</sup>
	a	b	c	d	e	f	g	
<b>Basınç Farkı Denklemleri Katsayıları</b>								
9-10 No'lu Pompa Giriş Basıncı	-165.361	3246.106	-26485.594	114964.542	-279981.183	362711.042	-195266.948	0.216
9-10 No'lu Pompa Çıkış Basıncı	-10.823	257.505	-2540.150	13295.564	-38941.198	60508.993	-38969.229	0.809
11-12 No'lu Pompa Giriş Basıncı	-152.524	3048.554	-25330.717	111991.134	-277843.015	366726.748	-201173.794	0.856
11-12 No'lu Pompa Çıkış Basıncı	-90.969	1874.915	-16045.429	72975.770	-186014.955	251935.359	-141624.542	0.656
13-14 No'lu Pompa Giriş Basıncı	311.761	-5052.254	33998.669	-121623.519	243964.820	-260204.423	115297.109	0.646
13-14 No'lu Pompa Çıkış Basıncı	-161.596	3628.105	-3389.588	168578.422	-470991.857	700777.795	-433806.728	0.624
<b>Elektrik Enerjisi Tüketimi Denklemleri Katsayıları</b>								
9-10 Nolu Pompa Giriş Basıncı	2321.991	-45475.638	370153.750	-1602836.264	3894357.616	-5034013.213	2704846.796	0.244
9-10 Nolu Pompa Çıkış Basıncı	-189.236	4431.310	-43038.377	221897.716	-640503.058	981342.210	-623446.761	0.191
11-12 Nolu Pompa Giriş Basıncı	3573.517	-70185.534	572986.318	-2488818.044	6066217.483	-7866793.160	4240661.625	0.385
11-12 Nolu Pompa Çıkış Basıncı	1376.737	-29397.566	260544.699	-1226558.131	3234149.958	-4527649.408	2628521.354	0.270
13-14 Nolu Pompa Giriş Basıncı	3569.955	-58723.497	400608.400	-1450806.424	2941884.200	-3167203.059	1414554.637	0.279
13-14 Nolu Pompa Çıkış Basıncı	-38230.230	837000.603	-7625396.013	37004133.319	-100887097.180	146526551.606	-88573215.321	0.413

**Tablo 5.** Isıtma Tesisatında Kullanılan Pompaların Giriş-Çıkış Basınç Farkına Bağlı Elektrik Enerjisi Tüketimi için Regresyon Analizindeki Polinom Fonksiyonu Denklemlerinin Katsayıları

Basınçlar	Elektrik Enerjisi Tüketimi Denklemleri Katsayıları							R <sup>2</sup>
	a	b	c	d	e	f	g	
1-2 No'lu Pompa Basınç Farkı	-1844633629.375	1628329072.067	-592068220.506	113390996.948	-12052235.077	673562.097	-15449.758	0.692
3-4 No'lu Pompa Basınç Farkı	-776.418	3246.372	-3973.018	2137.592	-553.845	67.665	-0.455	0.214
5-6 No'lu Pompa Basınç Farkı	21006869.182	-25303403.678	12563329.537	-3289181.571	478617.312	-36677.725	1158.692	0.075

**Tablo 6.** Soğutma Tesisatında Kullanılan Pompaların Giriş-Çıkış Basınç Farkına Bağlı Elektrik Enerjisi Tüketimi için Regresyon Analizindeki Polinom Fonksiyonu Denklemlerinin Katsayıları

Basınçlar	Elektrik Enerjisi Tüketimi Denklemleri Katsayıları							R <sup>2</sup>
	a	b	c	d	e	f	g	
9-10 No'lu Pompa Basınç Farkı	59620613.734	-34749232.975	842794180.970	-1088758383.917	790123301.804	-305410168.321	49122875.612	0.355
11-12 No'lu Pompa Basınç Farkı	3413.892	-15729.790	28617.424	-26027.544	12339.308	-2867.631	306.605	0.269
13-14 No'lu Pompa Basınç Farkı	364.37	-1382.763	1832.833	-826.235	-174.486	233.262	5.022	0.338

#### 4. SONUÇLAR VE TARTIřMA

Ölçümler ısıtma sisteminde 107 iş günü yapılmıştır. Ölçümlere göre ısıtma sistemi pompalarında (1-2,3-4 ve 5-6 no'lu pompalar) giriş basıncı 4.20-4.97 bar arasında, çıkış basıncı 4.31-5.53 bar arasında, basınç farkı 0.08-0.57 bar arasında, elektrik tüketimi ise 1.27-10.10 kWh arasında değişmektedir. Soğutma sisteminde 63 iş günü ölçümler yapılmıştır. Buna göre soğutma sistemi pompalarında ise (9-10,11-12 ve 13-14 no'lu pompalar) giriş basıncı 2.31-3.80 bar arasında, çıkış basıncı 2.69-4.69 bar arasında, basınç farkı 0.23-1.21 bar arasında, elektrik tüketimi ise 35.73-100.80 kWh arasında değişmektedir.

Isıtma sistemi pompalarının (1-2, 3-4 ve 5-6 no'lu pompalar) pompa giriş basıncına bağlı basınç farkı regresyon analizinde regresyon katsayısı ( $R^2$ ) değerleri 0.071-0.230 arasında, pompa çıkış basıncına bağlı basınç farkı regresyon analizinde regresyon katsayısı ( $R^2$ ) değerleri 0.232-0.477 arasında, pompa giriş basıncına bağlı elektrik enerjisi tüketiminin regresyon analizinde regresyon katsayısı ( $R^2$ ) değerleri 0.152, pompa çıkış basıncına bağlı elektrik tüketiminin regresyon analizinde ( $R^2$ ) regresyon katsayısı değerleri 0.198-0.362 arasında bulunmuştur. En iyi sonuçlar 3-4 no'lu pompa çıkış basıncı ile basınç farkı arasında 0.477 olarak hesaplanmıştır. Böylece 3-4 no'lu pompalarda çıkış basıncı ile basınç farkı tahminlerinde daha iyi sonuçlara ulaşılabilir.

Soğutma sistemi pompaların (9-10, 11-12 ve 13-14 no'lu pompalar) pompa giriş basıncına bağlı basınç farkı regresyon analizinde ( $R^2$ ) regresyon katsayısı değerleri 0.216-0.856 arasında, pompa çıkış basıncına bağlı basınç farkı regresyon analizinde regresyon katsayısı ( $R^2$ ) değerleri 0.624-0.809 arasında, pompa giriş basıncına bağlı elektrik enerjisi tüketiminin regresyon analizinde regresyon katsayısı ( $R^2$ ) değerleri 0.244-0.385, pompa çıkış basıncına bağlı elektrik tüketiminin regresyon analizinde regresyon katsayısı ( $R^2$ ) değerleri 0.191-0.413 arasında bulunmuştur. En iyi sonuçlar 11-12 no'lu pompa giriş basıncı ile basınç farkı arasında 0.856 olarak hesaplanmıştır. Böylece 11-12 no'lu pompalarda giriş basıncı ile basınç farkı tahminlerinde daha iyi sonuçlara ulaşılacaktır.

Isıtma sistemi pompalarından; 1-2 no'lu pompaların giriş-çıkış basınç farkına bağlı elektrik enerjisi tüketiminin regresyon analizinde regresyon katsayısı ( $R^2$ ) değeri 0.692, 3-4 no'lu pompaların giriş-çıkış basınç farkına bağlı elektrik enerjisi tüketiminin regresyon analizinde regresyon katsayısı ( $R^2$ ) değeri 0.214, 5-6 no'lu pompaların giriş-çıkış basınç farkına bağlı elektrik enerjisi tüketiminin regresyon analizinde regresyon katsayısı ( $R^2$ ) değeri 0.075 olarak hesaplanmıştır. Regresyon analizinde en iyi sonuçlar, 1-2 no'lu pompaların giriş-çıkış basıncına bağlı elektrik enerjisi tüketimi arasında 0.692 olarak hesaplanmıştır. Böylece 1-2 no'lu pompalarda giriş-çıkış basıncına bağlı elektrik enerjisi tüketim tahminlerinde daha iyi sonuçlara ulaşılacaktır.

Soğutma sistemi pompalarından; 9-10 no'lu pompaların giriş-çıkış basınç farkına bağlı elektrik enerjisi tüketiminin regresyon analizinde regresyon katsayısı ( $R^2$ ) değeri 0.355, 11-12 no'lu pompaların giriş-çıkış basınç farkına bağlı elektrik enerjisi tüketiminin regresyon analizinde regresyon katsayısı ( $R^2$ ) değeri 0.269, 13-14 no'lu pompaların giriş-çıkış basınç farkına bağlı elektrik enerjisi tüketiminin regresyon analizinde regresyon katsayısı ( $R^2$ ) değeri 0.338 olarak hesaplanmıştır. Regresyon analizinde en iyi sonuçlar, 9-10 no'lu pompaların giriş-çıkış basıncına bağlı elektrik enerjisi tüketimi arasında 0.355 olarak hesaplanmıştır. Böylece 9-10 no'lu pompalarda giriş-çıkış basıncına bağlı elektrik enerjisi tüketim tahminlerinde daha iyi sonuçlara ulaşılacaktır.

## 5. KAYNAKLAR

1. Sungur C. ve Bal G., 2003, “Yüksek Güvenirlikli ve Hassasiyetli Bir Santrifüj Pompa Deney Standının Bilgisayar Kontrollü Olarak Geliştirilmesi”, 3. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, 403-414, Ankara.
2. Dağsöz A. K., 1988, Sıcak Sulu Kalorifer Tesisatı, Demir döküm Teknik Yayınlar No:6, 1.Baskı, 249-267, İstanbul.
3. Tolvanen J., July 2007, “Life Cycle Energy Cost Savings Through Careful System Design and Pump Selection”, World Pumps, 34-37.
4. Özgür C. ve Tüysüz B., 2008, “Pompalı Tesislerde Sistem Yaklaşımı ve Standartlaştırma Çalışmaları”, 6. Pompa Vana Kongresi Bildiriler Kitabı, 32-40, Ankara.
5. Vogelesang H. ,January 2008, “An Introduction to Energy Consumption in Pumps”, World Pumps, 29-31.
6. Ahonen T., Tamminen J., Ahola J., Viholainen J., Aranto N. and Kestila J., 2010, “Estimation of Pump Operational State with Model-Based Methods”, Energy Conversion and Management, 51, 6, 1319-1325.
7. Korkmaz E., Gölcü M. ve Kurbanoğlu C., 2009, “Dalgıç Pompa Performans Testlerinde Kullanılan Yeni Teknolojiler”, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Karabük.
8. Yiğit K. S., Kaya D., Yağmur A. ve Eren A. S., 2008, “Sanayi Tipi Santrifüj Pompalarda Enerji Verimliliği”, 6. Pompa Vana Kongresi Bildiriler Kitabı, 104-109, Ankara.
9. Yumurtacı Z. ve Sarıgül A., 2011, “Santrifüj Pompalarda Enerji Verimliliği ve Uygulamaları”, Tesisat Mühendisliği Dergisi, 122, 49-58.
10. Kaya D., Yağmur E. A., Yiğit K. S., Kiliç F. C., Eren A. S. and Çelik C., 2008, “Energy Efficiency in Pumps”, Energy Conversion and Management, 49,6,1662-1673.
11. Fahlen P., Voll H. And Naumov J., 2006, “Efficiency of Pump Operation in Hydronic Heating and Cooling Systems”, Journal of Civil Engineering and Management, 12, 1, 57-62.
12. Catalina T., Virgone J. and Blanco E., 2008, “Development and Validation of Regression Models to Predict Monthly Heating Demand for Residential Buildings”, Energy and Buildings, 40,10, 1825-1832.
13. Kon O., 2014, “Farklı Amaçlarla Kullanılan Binaların Isıtma ve Soğutma Yüklerine Göre Optimum Yalıtım Kalınlıklarının Teorik ve Uygulamalı Olarak Belirlenmesi”, Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.