İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AFYON İLİ ÖMER-GECEK JEOTERMAL SAHASININ ENERJİ KULLANIM DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jeo. Müh. Ömer YETEMEN

Anabilim Dalı: Jeoloji Mühendisliği

Programı: Uygulamalı Jeoloji

ARALIK 2006

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AFYON İLİ ÖMER-GECEK JEOTERMAL SAHASININ ENERJİ KULLANIM DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jeo. Müh. Ömer YETEMEN
(505042208)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 22 Aralık 2006
Tezin Savunulduğu Tarih : 27 Aralık 2006

Tez Danışmanları : Yrd.Doç.Dr. H. Tolga YALÇIN

Prof.Dr. Mehmet KARACA

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Remzi KARAGÜZEL (İ.T.Ü.)

Prof.Dr. Mustafa ONUR (İ.T.Ü.)

Prof.Dr. Abdurrahman SATMAN (İ.T.Ü.)

ARALIK 2006

ÖNSÖZ

Gerek lisans gerekse de yüksek lisans tezimde beni yalnız bırakmayan değerli hocalarım Yrd. Doç. Dr. H. Tolga YALÇIN ve Prof. Dr. Mehmet KARACA'ya sonsuz şükranlarımı sunarım. Eş danışmanlarıma benim bilimsel ve kişilik anlamında gelişmeme yardımcı oldukları, araştırmalarıma cesaret verdikleri ve bana çalışmalarımda yön gösterdikleri için minnettarım.

AFJET datalarının sağlanması, çalışma sisteminin anlatılması ve arazinin tanıtılmasında yardımcı olan Makine Mühendisi Erhan ÖZŞAKACI'ya teşekkürü borç bilirim.

Binaların ısı ihtiyacını ortaya çıkarılmasında kullanılan model evin tasarımı ve ısı hesapları Makine Yüksek Mühendisi Hilal ÇALIK ÖZDEMİR'in katkılarıyla yapılmıştır. Kendisine yardımlarından ötürü teşekkür ederim.

Oto regresif model George Washington Üniversitesi'nden Ar. Gör. Adil Caner ŞENER ile birlikte yapılmıştır. Tez boyunca gerek sorularıma sabırla cevap verdiği için gerekse de bana çalışmamda yol gösterdiği için teşekkür ederim.

Çalışmalarımda bana sabır gösteren mesai arkadaşlarım Emrah Tuncay ÖZDEMİR ve Nadir YILDIRIM'a bana katlandıkları için teşekkür ederim.

Tez hakkında olumlu katkılarda bulunan, hataların düzeltilmesini sağlayarak tezin kalitesinin artmasını sağlayan değerli jüri üyeleri Prof. Dr. Remzi KARAGÜZEL, Prof. Dr. Mustafa ONUR ve Prof. Dr. Abdurrahman SATMAN'a teşekkürü borç bilirim.

Burada ismini yazamadığım bana yardımcı olan değerli dostlarıma ve arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Aralık, 2006 **Ömer YETEMEN**

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR **v**
TABLO LİSTESİ **vi**
ŞEKİL LİSTESİ **vii**
ÖZET **ix**
SUMMARY **x**

1. GİRİŞ **1**
1.1. Çalışmanın Amacı 1
1.2. Çalışma Yöntemi 2
1.3. Çalışma Alanı 2
1.3.1. Coğrafi konum ve ulaşım 2
1.3.2. Morfoloji ve bitki örtüsü 3
1.3.3. İklim ve meteoroloji 4

2. ÇALIŞMA ALANININ JEOLOJİ VE HİDROJEOLOJİSİ **6**
2.1. Önceki Çalışmalar 6
2.2. Çalışma Alanının Jeolojisi 7
2.2.1. Paleozoik yaşlı kayalar 7
2.2.2. Senozoik yaşlı kayalar 9
2.2.2.1. Gebeciler formasyonu 9
2.2.2.2. Afyon volkanik kayaları 9
2.2.2.3. Neojen çökelleri 10
2.2.2.4. Alüvyon 10
2.2.2.5. Yamaç molozu (Birikinti konisi) 10
2.2.2.6. Traverten 10
2.3. Tektonik 10
2.4. Çalışma Alanının Hidrojeolojisi 11
2.4.1. Jeotermal alanın karakteristiği 11
2.4.1.1. Akifer kayaları 12
2.4.1.2. Örtü kayaları 12
2.4.2. Hidrojeolojik çevrim 12
2.4.3. Jeotermal suyun kimyası 13
2.4.4. Jeotermometre 14

3. VERİLERİN SUNULMASI **15**
3.1. Önceki Çalışmalar 15
3.2. Meteorolojik Veriler 16
3.3. Ortalama hava sıcaklığı 16
3.3.1. Ortalama hava sıcaklıklarının dağılımı 17
3.3.2. Homojenlik testleri 18
3.3.2.1. Grafik yöntemi 19
3.3.2.2. Spearman sıra ilgileşim sınaması 21
3.3.3. Eğim analizi 22

3.3.3.1. Grafik yöntemi 23
3.3.3.2. Sıralı Mann-Kendall sınama yöntemi 23
3.4. Derece-gün Değerleri 25
3.5. Afyon İli İçin Dış Hava Sıcaklığının Hesaplanması 27
3.5.1. Dış hava sıcaklıklarının önemi 27
3.5.2. Dış hava sıcaklıkları hesaplama yöntemleri 28
3.5.3. Afyon için hesaplanan dış hava sıcaklıkları 31
3.6. İklim Verileri 33
3.6.1. Kuzey Denizi - Hazar örüntüsü 33
3.6.2. Kuzey Denizi - Hazar örüntüsü gösterge değerlerinin hesaplanması 33

4. AFJET 38
4.1. Kuruluşu 38
4.2. Çalışma Sistemi 38
4.3. Kuyular 43
4.4. Reenjeksiyon 45
4.5. Tüketim Bedelleri 47

5. AFJET ISI İHTİYACININ BELİRLENMESİ VE ISITMA SİSTEMİNİN MODELLENMESİ 48
5.1. Önceki Çalışmalar 48
5.2. Isı İhtiyacının Modellenmesi 49
5.2.1. Verilen ısı modeli 49
5.2.2. Bina ısı kaybı modeli 50
5.2.3. Oto regresif model 53
5.3. Modellerin Sınanması 54
5.3.1. Verilen ısı ve bina kaybı modellerinin sınanması 55
5.3.2. Oto regresif modelin sınanması 55
5.4. Derece-Dün Değerleri 61
5.5. İleriye Dönük Projeksiyonlar 62
5.5.1. İklim verilerinden faydalanarak enerji tüketim tahmini 62
5.5.2. İklim örüntülerinden faydalanarak enerji tüketim tahmini 63

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA 65

KAYNAKLAR 67

ÖZGEÇMİŞ 74

KISALTMALAR

ABD : Amerika Birleşik Devletleri
AFJET : Afyon Jeotermal Tesisleri Turizm Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi
DMİ : Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
HST3D : The Heat Solute Transfer 3 Dimensional Program
KDV : Katma Değer Vergisi
MF2K-GWT : MODFLOW 2000- Groundwater Transfer Processes
MTA : Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
NAO : North Atlantic Oscillation
Kuzey Atlantik Salınımı
NCP : North Sea-Caspian Pattern Index
Kuzey Denizi-Hazar Denizi Örüntüsü
NCPI : North Sea Caspian Pattern Index
Kuzey Denizi–Hazar Denizi Örüntüsü Göstergesi
PDO : Pacific Decadal Oscillation
Onar yıllık Pasifik Salınımları
pH : Asidik Derecesi
RMSE : Root Mean Square Error
Hata miktarlarının karelerinin ortalamalarının karekökleri
SO : Southern Oscillation
Güney Salınımı
TÇM : Toplam Çözünmüş Madde Miktarı
WMO : World Meteorological Organization
Dünya Meteoroloji Teşkilatı
YTL : Yeni Türk Lirası

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1.1. Afyon'a ait meteorolojik verilerin uzun yıllar ortalaması..... 5
Tablo 2.1. Ömer-Gecek jeotermal sahasındaki kuyulardan alınan suların kimyasal analizi..... 13
Tablo 3.1. Afyon ile diğer illerin yıllık ortalama sıcaklık değerlerinin karşılaştırılması sonucu elde edilen Spearman sıra ilgileşim değerleri..... 22
Tablo 3.2. Afyon'un değişik taban sıcaklıklarına göre 1975-2005 arasında gerçekleşen derece-gün değerleri…… 26
Tablo 3.3. Normalize edilmiş NCP değerleri……..... 35
Tablo 3.4. Normalize edilmiş NCP değerlerine göre NCP fazları……..…….. 36
Tablo 4.1. Afyon Ömer-Gecek Bölgesindeki halihazır jeotermal kuyular……... 44
Tablo 5.1. 3. Derece ısı bölgesindeki yerler için tavsiye edilen ve model evde kullanılan değerler..... 51
Tablo 5.2. Kalibrasyon sonucu RMSE miktarları..... 53
Tablo 5.3. AFJET ısıtma sezonları..... 54
Tablo 5.4. AFJET'de tüketilen yıllık jeotermal su miktarları..... 61
Tablo 5.5. AFJET'de tüketilen aylık ortalama su miktarları..... 63
Tablo 5.6. NCP evreleri ve Afyon aylık ortalama sıcaklıkları 63
Tablo 6.1. Isıtma dönemlerindeki değişkenlerin ortalamaları ve bunların debiye etki miktarları……... 66

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1 :İnceleme alanının yer bulduru haritası 3
Şekil 2.1 :Ömer-Gecek jeotermal alanının jeoloji haritası 8
Şekil 2.2 :Ömer-Gecek jeotermal sahasının kavramsal modeli..... 13
Şekil 3.1 :Afyon'un günlük ortalama sıcaklıkları 17
Şekil 3.2 :Afyon ili için günlük ortalama sıcaklık histogramı..... 18
Şekil 3.3 :Günlük ortalama sıcaklık toplam frekansları ve yüzdesel dağılım grafiği 18
Şekil 3.4 :Afyon ile Denizli arasındaki yıllık ortalama sıcaklık farkı..... 19
Şekil 3.5 :Afyon ile Isparta arasındaki yıllık ortalama sıcaklık farkı..... 20
Şekil 3.6 :Afyon ile Uşak arasındaki yıllık ortalama sıcaklık farkı..... 20
Şekil 3.7 :Afyon ile Kütahya arasındaki yıllık ortalama sıcaklık farkı..... 21
Şekil 3.8 :Afyon ile Konya arasındaki yıllık ortalama sıcaklık farkı..... 21
Şekil 3.9 :Afyon yıllık ortalama hava sıcaklıkları ve eğim çizgisi..... 23
Şekil 3.10 :Afyon yıllık ortalama sıcaklıklarının Mann-Kendall sınaması eğilimi.. 24
Şekil 3.11 :Afyon için değişik taban sıcaklıklarında hesaplanan derece-gün değerleri..... 27
Şekil 3.12 :Türkiye genelinde dış hesap sıcaklıklarının yükseklikle değişimi..... 32
Şekil 3.13 :Kuzey Denizi – Hazar Örüntüsünün kutupları..... 34
Şekil 3.14 :NCP negatif safha..... 37
Şekil 3.15 :NCP pozitif safha..... 37
Şekil 4.1 :AFJET genel akış şeması..... 39
Şekil 4.2 :AF-21 Üretim kuyusu ve inhibitör ilavesi..... 40
Şekil 4.3 :Toplama havuzu ve bacaları..... 41
Şekil 4.4 :Toplama havuzundan gelen suyu pompalayan pompa..... 41
Şekil 4.5 :Isıtma merkezindeki eşanjörler..... 42
Şekil 4.6 :Bina altı eşanjörleri..... 43
Şekil 4.7 :R-260 kuyusunda limnigraf ile su seviyesi ölçümü..... 45
Şekil 4.8 :AF-1 Gözlem kuyusundan elde edilen su seviyesi ölçümleri..... 47
Şekil 4.9 :AF-19 Gözlem kuyusundan elde edilen su seviyesi ölçümleri..... 47
Şekil 5.1 :Isıtma modelleri..... 49
Şekil 5.2 :Model ev ve özelikleri..... 51
Şekil 5.3 :Değişik dış hava sıcaklıklarında model ev için gerekli saatlik ısı miktarı..... 52
Şekil 5.4 :Değişik dış hava sıcaklıklarında AFJET ile ısıtılan bütün konutların ısıtılması için gerekli saatlik debi miktarı 52
Şekil 5.5 :Kullanılan debi miktarlarıyla, günlük ortalama hava sıcaklıklarının karşılaştırılması..... 55
Şekil 5.6 :Kullanılan debi miktarlarıyla, iki günlük ortalama hava sıcaklıklarının karşılaştırılması..... 56

Şekil 5.7 : Kullanılan debi miktarlarıyla, modelin karşılaştırılması (2001-2002 ısıtma sezonu)..... 56
Şekil 5.8 : Kullanılan debi miktarlarıyla, modelin karşılaştırılması (2002-2003 ısıtma sezonu)..... 57
Şekil 5.9 : Kullanılan debi miktarlarıyla, modelin karşılaştırılması (2003-2004 ısıtma sezonu)..... 57
Şekil 5.10 : Kullanılan debi miktarlarıyla, modelin karşılaştırılması (2003-2004 ısıtma sezonu)..... 58
Şekil 5.11 : Kullanılan debi miktarlarıyla, modelin karşılaştırılması (2003-2004 ısıtma sezonu)..... 58
Şekil 5.12 : Kullanılan debi miktarlarıyla, modelin karşılaştırılması (2004-2005 ısıtma sezonu)..... 59
Şekil 5.13 : Kullanılan debi ile hata miktarlarının karşılaştırılması (2001-2002 ısıtma sezonu)..... 59
Şekil 5.14 : Kullanılan debi ile hata miktarlarının karşılaştırılması (2002-2003 ısıtma sezonu)..... 60
Şekil 5.15 : Kullanılan debi ile hata miktarlarının karşılaştırılması (2003-2004 ısıtma sezonu)..... 60
Şekil 5.16 : Kullanılan debi ile hata miktarlarının karşılaştırılması (2004-2005 ısıtma sezonu)..... 61
Şekil 5.17 : Afyon günlük ortalama hava sıcaklıkları..... 62

AFYON İLİ ÖMER-GECEK JEOTERMAL SAHASININ ENERJİ KULLANIM DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

ÖZET

Türkiye sahip olduğu aktif yapısı sebebiyle oldukça fazla sayıda jeotermal sıcak sulara sahiptir. Jeotermal sıcak sular yenilebilir enerji kaynakları olup, Türkiye'de ısıtma amaçlı olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Jeotermal suların temas halinde oldukları kayaçlarla etkileşimi sonucunda, beraberinde getirdiği çözünmüş maddelerin doğaya zarar vermesini önlemek ayrıca rezervuar basıncının korunmasını sağlamak amacıyla kuyu işletmelerinde reenjeksiyon metoduna başvurulmaktadır. Ancak Afyon, Ömer-Gecek örneğinde olduğu gibi reenjeksiyon kapasitesi sınırlıdır. Reenjekiyon kapasitesinden fazla kullanılan suyun yüzey sularına drene edilmesi uzun zaman sonucunda yüzey sularında ve suların boşaldığı göl gibi kapalı havzalarda ekolojik değişikliğe sebep olmaktadır. Gereğinden fazla kullanılan jeotermal su rezervuar basıncını düşürmekte, operasyon maliyetlerini arttırmakta ve kullanılan donanımların ömrünü kısaltmaktadır. Bundan dolayı en uygun debinin belirlenmesi ve uygun debinin belirlenmesinde kullanılan etmenlerin basitliği ve anlaşılabilirliği önemlidir.

Bu çalışmada en önemli değişken olarak sıcaklık esas alınmıştır. Sıcaklığın yanı sıra ısı kaybı hesaplarında kullanılan rüzgar, güneşlenme ve bir önceki gün içinde kullanılan tüm enerji miktarı gibi parametreler ele alınmıştır. Bu parametrelerle lineer bir model üretilerek, parametre değişimlerinin ne gibi sonuçlar doğuracağı incelenmiştir. Üretilen oto regresif modele göre bir önceki gün kullanılan debi miktarı o gün kullanılacak debi miktarı üzerinde çok etkilidir.

Ayrıca sıcaklık parametresi üzerinde etkisi olan Kuzey Denizi-Hazar Paterni (NCP) indeks değerleri hesaplanmıştır. Bu değerlere göre NCP değerlerinin hangi fazlarda oldukları belirtilmiş ayrıca sıcaklık ile ilişkisi incelenmiştir. Kullanılan debi miktarları ile NCP fazları arasında ilişki gösterilmiştir.

Enerji tüketim miktarlarının hesaplanmasında derece-gün hesaplanması kolay bir yöntemdir. Afyon için değişik taban sıcaklıklarında derece-gün değerleri verilmiştir. Derece-gün değerleri kullanılarak tüketim miktarlarının ne kadar olması gerektiği hesaplanmıştır.

INVESTIGATING OF THE ENERGY CONSUMPTION BEHAVIOUR OF OMER-GECEK, AFYON GEOTERMAL FIELD

SUMMARY

Turkey has lots of geothermal water springs due to its unique active tectonic structure. Geothermal waters are renewable energy source and they are widely used in Turkey for the purpose of residential heating. Reinjection is an essential process that the reverse pumping of water from residences to wells which returns from the heating systems. Reinjection eliminates the detrimental effects of the chemical solutions which come from the interior earth with water due to the interaction with the adjacent sediments and formations. Moreover reinjection helps to maintain the reservoir pressure. On the other hand the reinjection capacity of the field is limited such as Omer-Gecek, Afyon. Using water more than the reinjection capacity causes changing the chemical composition of the surface water or closed watershed such as lake because of the drainage of water to the rivers. In addition to causing decomposition of ecologic life, using more geothermal water than the reinjection capacity also causes decreasing the reservoir pressure and life expectancy of the equipments, and increasing operational costs. For these reasons optimum discharge is very important. The simplicity of the optimum discharge and its applicability are under consideration.

In this study the most important parameter for deciding optimum parameter is temperature. Beside temperature, wind, solar radiation and the previous day discharge are taken into account because of their impact on the heat loss calculations. The linear model is created with these parameters, and the effects of the parameter changes are investigated. According to this auto regressive model, previous day discharge is very effective on deciding the required discharge for today.

The North Sea-Caspian Pattern (NCP) is effective on temperatures; also the NCP indices are calculated to investigate its effect on temperature. NCP phases are decided according to the calculated NCP values. The discharge amounts and NCP values are investigated.

Degree-days is another method to calculate the required energy amount for any kind of system because of its simplicity. Degree-day values for different base temperatures are calculated for Afyon. According to the calculated degree-day values, energy needs are calculated for the system.

1.GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Amacı

Bu çalışma jeotermal açıdan zengin bir ilimiz olan Afyon'un, Merkez ilçesinde kurulu bulunan AFJET'in (Afyon Jeotermal Tesisleri Turizm Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi) yaklaşık olarak 4500 konutun ısıtılmasında kullandığı jeotermal enerjinin verimliliğini incelemek için hazırlanmıştır.

Jeotermal enerji ucuz olması yanında gerek fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltması gerekse de temiz bir enerji kaynağı olması sebebiyle tercih edilmektedir. Her ne kadar yenilenebilir enerji kaynağı olarak kabul edilse de, yenilenme kapasitesinin üzerinde tüketilmesi durumunda rezervuar basıncının düşmesine sebep olur. Rezervuar basıncını korumak için yapılan tekrar basma (reenjeksiyon) olayı rezervuarın sıcaklığını düşürebilir. İşte bu kritik dengeden dolayı jeotermal enerjinin bilinçli tüketilmesi gerekmektedir. Isıtma amaçlı kullanılan jeotermal enerji tüketimini kontrol eden ana değişken ise dış hava sıcaklığıdır. Bundan dolayı bu çalışmada; öncelikle dış hava sıcaklığı daha sonra diğer meteorolojik değişkenler ile debi arasındaki ilişki irdelenmiştir.

Ayrıca AFJET tarafından reenjeksiyon ile geri basılacak suyun limiti vardır. Azami reenjeksiyon kapasitesi saatte 450 ton civarındadır. Bu değer ısıtma sezonunun bir dönemi için yeterli bir değerdir. Daha soğuk ısıtma günlerinde, reenjeksiyon kapasitesinden fazla kullanılan geri basılamayan jeotermal su, beraberinde getirdiği erimiş maddelerle beraber Afyon'un içinden geçen Akarçay'a verilmektedir. Jeotermal suyun bu akarsuya verilmesi, akarsuyun içinden geçtiği Afyon Ovasında yapılan tarıma ve doğal hayata uzun dönemde zarar vermektedir. Isıtma için kullanılan suyu uygun değerde tutarak, çevreye verilen zararı asgariye indirmek amaçlanmaktadır. Bu yüzden en uygun debi miktarının doğal hayatı korumadaki önemi de belirtilmiştir.

1.2. Çalışma Yöntemi

Bu çalışmada ısıtma için kullanılan enerji miktarları, AFJET tarafından kaydedilen günlük ortalama debi miktarları kullanarak hesaplanmıştır. Meteorolojik veriler ise DMİ'den (Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü) temin edilmiştir. Ayrıca meteorolojik uzak etkileşim olan NCP (Kuzey Denizi-Hazar Denizi Örüntüsü) ile tüketilen jeotermal enerji tüketimleri arasındaki ilgileşimin hesaplanması için Doğu Anglia Üniversitesi'ndeki İklim Araştırmaları Birimi tarafından analiz edilerek yayınlanmış olan Kuzey Denizi–Hazar Denizi Örüntüsü Göstergesi (NCPI) kullanılmıştır.

Afyon için kullanılan meteorolojik verilerin çevre istasyonlar ile homojenliği test edilmiştir. Debinin tüm meteorolojik değişkenler ile arasındaki ilişki incelenmiştir. Afyon için değişik taban sıcaklıklarında derece-gün değerleri üretilmiştir.

1.3. Çalışma Alanı

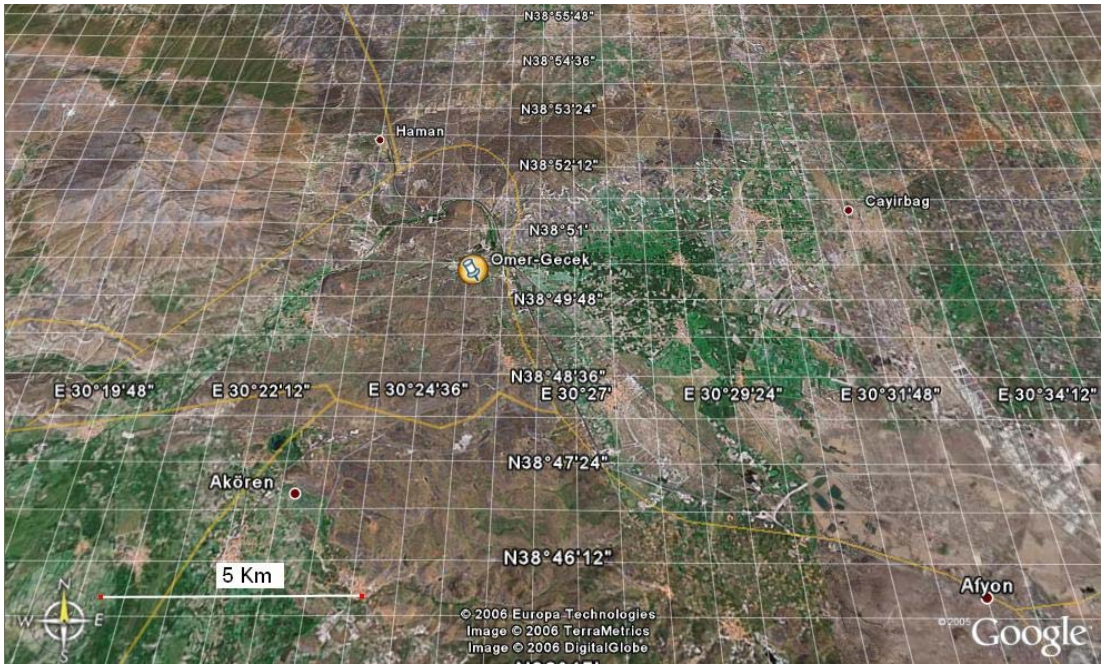
1.3.1. Coğrafi Konum ve Ulaşım

Ege, Akdeniz ve İç Anadolu bölgelerinin keşişim noktasında bulunan Afyon, denizden 1000–1500 m yükseklikte çoğu püskürük kütlelerden meydana gelmiş bir arazi üzerindedir.

Yüzölçümü 14230 kilometrekaredir. Coğrafi olarak dört bölgeye ayrılır. Birinci Bölge, Merkez (Afyon) ile Bolvadin, Sincanlı ve Şuhut ilçelerini ihtiva eden ovadır. Buradaki akarsulardan Seyitler, Akar ve Kalı Çayları İzzer Gölüne dökülür. İkinci bölge, Sakarya Irmağına yakın olan Emirdağ ovasıdır. Üçüncü bölge, Sandıklı Ovasıdır. Küfi Çayı bu bölgede doğar ve Büyük Menderes'e karışır. Dördüncü bölge, Dinar ve Dazkırı ovalarıdır.

Birinci bölgede yer alan çalışma alanı Ömer-Gecek diye anılmakta olup; Afyon'un yaklaşık olarak 15 km kuzeybatısında, Afyon Merkez ilçesine bağlıdır. İnceleme alanında yer alan yerleşim merkezleri; kuzeyde Bayramgazi, batıda Köprülü, güneyde Demirçevre ve Sadıkbey, doğuda Saraydüzü, Fethibey, İsmailköy, merkezde Ömer ve Gecek köyleridir.

Ömer-Gecek çalışma alanı, Afyon-Kütahya şehirlerarası ulaşım yolu üzerinde olup, yol tamamen asfalttır. Ulaşım her mevsimde mümkündür. Çalışma alanının yer bulduru haritası Şekil 1.1 de verilmiştir.



Şekil 1.1: İnceleme alanının yer bulduru haritası **(Google Earth, 2006)**

1.3.2. Morfoloji ve Bitki Örtüsü

Dağları yüksektir. Sultan Dağları, Torosların batıya doğru uzanan son kısımlarını teşkil eder. En yüksek yeri Topraktepe 2581 metredir. Kumanlar Dağının en yüksek yeri Göktepe 2250 m, Emirdağ 2307 m, Sandıklı Dağı 2247 m, Akdağ 2446 m, Ahırdağı 1915 m, Kocatepe 1867 metredir. Afyon şehrinin tarihi kalesini üzerinde taşıyan Yalçınkaya (Sivritepe) 1200 metredir.

Ovaları Akarçay Vadisinin kestiği Afyon Ovası, Şuhut, Sincanlı, Dinar, Emirdağ ve Sandıklı başlıca ovalarıdır. Afyon Ovasının yükseltisi sınırlarda artmasına rağmen tüm ova boyunca 1010-1020 m arasındadır. Ovanın 230 km^2'lik alanı, 818,5 km^2'lik drenaj alanı bulunmaktadır. Ovanın uzun ekseni yaklaşık olarak 16 km, kısa ekseni ise 14 km'dir **(Atilla, 2003).**

Akarsuları Seyitler Deresi, Akarçay, Kalı ile Küfi çaylarıdır. Afyon'daki akarsular, Sakarya ve Porsuk ile Karadeniz'e, Büyük Menderes'in kolu Küfi Çayı ile Ege'ye akar.

Afyon'da ormanlık alan % 7 olup, 90950 hektardır. Ormanlarında karaçam, akçam, meşe, kızılmeşe, palamut ve ardıç ağaçları mevcuttur. Ekilip işletilmeyen yerlerde geniş otlaklar bulunur.

Afyon göl bakımından zengindir. Akşehir gölünün yarısı Afyon iline dahildir. Akşehir gölü deniz seviyesinden 990 m, Eber Gölü ise deniz seviyesinden 995 m yüksektedir. Karamık Gölü, Çapak Gölü ve yarısı Denizli ilinde olan Acıgöl bölgenin önemli gölleridir. Ayrıca Selevir ve Seydiler barajları bulunmaktadır.

Ömer-Gecek çalışma alanı yaklaşık olarak denizden ortalama 1030 m yüksekliktedir. Daha çok ova görünümünde olmakla beraber; batısı ve kuzeyi ufak tepelerle çevrilidir. Güney kısmında ise tepeler daha yüksek ve dağ görünümündedir. En önemli akarsuyu Akarçaydır. Toprak; tarım arazisi, bahçe ve otlak olarak kullanılmaktadır.

1.3.3. İklim ve Meteoroloji

Denizlere uzak ve etrafı dağlarla çevrili olduğundan tipik bir kara iklimi hüküm sürer. Bununla beraber geçiş bölgesi özelliklerini de gösterir. Kışları karlı ve soğuk, yazları sıcak ve kurak geçer. Yağışlar daha çok kış ve ilkbahar mevsiminde görülür.

Yılda kar yağışlı geçen gün sayısı 30, yağmurlu gün sayısı ise 80 civarındadır. Senenin 110–120 günü tamamen güneşli, gerisi bulutlu geçer. Yıllık yağış toplamı 417 mm'dir. Hakim rüzgar yönü batılıdır. Yıllık ortalama sıcaklık 11,2 ^{o}C'dir. Yılın en soğuk ayı Ocak ayı iken; yılın en sıcak ayı Temmuz ayıdır. Aylık ortalama sıcaklıkları bu aylar için sırasıyla 0,3 ^{o}C ve 22,2 ^{o}C'dir.

Bölgeye ait meteorolojik parametreler Tablo 1.1 de verilmiştir.

Tablo 1.1: Afyon'a ait meteorolojik verilerin uzun yıllar ortalaması (1975–2004)

Parametre	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Basınç (mb)	869,0	878,7	875,2	882,0	886,9	887,3	888,1	889,8	876,5	890,1	883,9	881,7	869,0
Sıcaklık (^{o}C)	0,3	1,5	5,3	10,3	15,0	19,2	22,2	21,7	17,8	12,3	6,4	2,0	11,2
Yağış (mm)	39,7	35,9	41,5	50,9	47,8	32,1	21,5	15,2	12,0	36,3	36,5	48,1	417,5
Rüzgar Hızı (m/s)	2,1	2,4	2,5	2,5	2,3	2,3	2,5	2,3	2,1	1,9	2,0	2,1	2,2
Nisbi Nem (%)	78	74	68	63	61	56	53	53	55	64	72	79	64
Günlük Güneşlenme Süresi (saat:dakika)	2:48	3:57	5:10	6:09	08:05	09:56	11:05	10:36	8:47	6:21	4:33	2:23	6:39

2. ÇALIŞMA ALANININ JEOLOJİ VE HİDROJEOLOJİSİ

2.1. Önceki Çalışmalar

Çalışma alanının jeolojisi için yapılan çalışmalar; Batı Anadolu ve Ege Bölgesinin jeodinamik oluşumu, Avrasya ve Afrika Plakalarının çarpışması üzerleyen Avrasya kıtasına küçük kıtaların birleşmesi sonucudur **(Dewey ve Şengör, 1979).** Bu birleşmenin ve kıtasal çarpışmanın sonucu olarak, geniş orojenik volkanizmalar gelişmiş, en yaşlısı Üst Kratese yaşında olan kuzeyden güneye doğru gençleşen birkaç magmatik kuşak oluşmuştur **(Fyitikas ve diğ., 1984).** Anadolu ve Ege Bölgesindeki en karmaşık ve yaygın oluşum Üst Eosen ve Orta Miyosen arasında oluşmuştur. Bu oluşum, KB-GD doğrultusunda uzanımlı ve kabaca güneye doğru hareket eden magmatik aktivitedir **(Francalanci ve diğ, 2000).** Batı Anadolu Volkanizması'nın en doğusunu, Isparta büklümünün bulunduğu K-G uzanımlı birkaç volkandan oluşan Eskişehir-Antalya arasındaki yaklaşık 400 km uzanımlı kısmı oluşturur. Bu volkanizma Kırka-Afyon-Isparta Volkanizması olarak anılır. Bu volkanizmanın parçaları **Besang ve diğ., (1977)** ve **Yalçın (1990)** tarafından Miyosen olarak yaşlandırılmıştır.

Ayrıca çalışma alanında MTA (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü) tarafından açılan jeotermal kuyuların, kuyu bitirme raporlarında litoloji ve kuyu donanımları bulunmaktadır **(Erişen, 1976; Erişen ve diğ., 1984; Güner, 2004).**

Çalışma alanının hidrojeolojisi için yapılan çalışmalar ise; **Afşin (1997)** Afyon Sandıklı Ovası'ndaki yeraltısularının fiziksel ve kimyasal özelliklerini incelemiş, bu suların ev ve tarımsal kullanımı için uygunluğunu araştırmıştır. **Mutlu (1998)** Ömer-Gecek jeotermal sahasındaki termal suları jeokimyasal açıdan incelemiş, değişik jeotermetre uygulamaları ile rezervuar sıcaklıklarını hesaplamıştır. **Mutlu ve Güleç (1998)** Türkiye'deki değişik tektonik yerleşime sahip bölgelerdeki jeotermal suların jeokimyasal analizleri verilmiş ve uygulanan jeotermometre ile hesaplanan sıcaklıklar verilmiştir. **Bakaç ve Kumru (2001)** tarafından Gediz Nehri boyunca alınan su numunelerinde yapılan analizlerde değişik elementlerin değişimi incelenmiş ve değişime etki eden unsurların faktör analizi yapılmıştır. Endüstri,

deniz, tarım ve jeolojiden oluşan dört faktör, verilerdeki toplam varyansın %67'sinden sorumludur. **Atilla (2003)** MF2K-GWT matematiksel modeliyle Afyon Ovası'ndaki yeraltısularının kirlenmesini modellemiştir. Beyazı, Susuz ve Akçin yörelerinde yüzey sularında belirgin bir kirlenme olmayacağını, fakat 250–400 m derinliklerde Cl konsantrasyonunun 600 mg/l'ye ulaşacağını vurgulamıştır. **Akan (2003)** HST3D Programı kullanılarak, Ömer-Gecek jeotermal sahasında farklı derinliklerdeki kuyulara reenjeksiyon yapılması sonucunda termal akiferdeki basınç ve sıcaklık koşullarında ne tür değişikliğiklerin meydana geleceği ve kullanımdan dönen jeotermal suyun hangi derinliğe verilmesinin daha uygun olacağını incelemiştir. Bu çalışmaya göre AF-4, AF-22 numaralı kuyular ile Reen adı verilen hayali bir kuyuda 700-800 m derinliğe reenjeksiyon işlemi yapılmıştır. Model sonuçlarına göre 700-800 m derinliğe 20 yıl süreyle yapılacak olan reenjeksiyon işleminin, termal akifer dinamikleri üzerinde bir etkisinin olmadığı, buna karşılık sistem içerisinde soğumayı önlediği belirlenmiştir. **Doğdu ve Bayarı (2005)** tarafından termal suların Akarçay'a bırakılmasının etkileri ve uzun dönemde Eber Gölü'ndeki kirliliğe olan etkileri araştırmak için; su kuyularından ve Akarçay'dan numuneler alarak araştırma yapmışlardır. **Gemici ve Tarcan (2004)** Heybeli Kaplıcalarındaki termal sularda Hidrojen Sülfit, Arsenik, Bor, Civa, Kurşun, Demir, Çinko, Manganez ve Lityum açısından kirliliği ve bu suların içilebilirliğini araştırmışlardır. **Tarcan ve diğ., (2005)** Gediz Graben'indeki geotermal sahaların kimyasal bileşimlerini incelemişler ve jeotermometrelerini araştırarak akifer sıcaklıklarını hesaplamışlardır. **Akkuş ve diğ., (2005**) tarafından Türkiye'deki 25 ^{o}C ve daha yüksek sıcaklığa sahip sıcak su kaynağı veya sıcak su kuyularının bulunduğu 63 il içerisindeki jeotermal alanlara ait bilgiler verilmiştir.

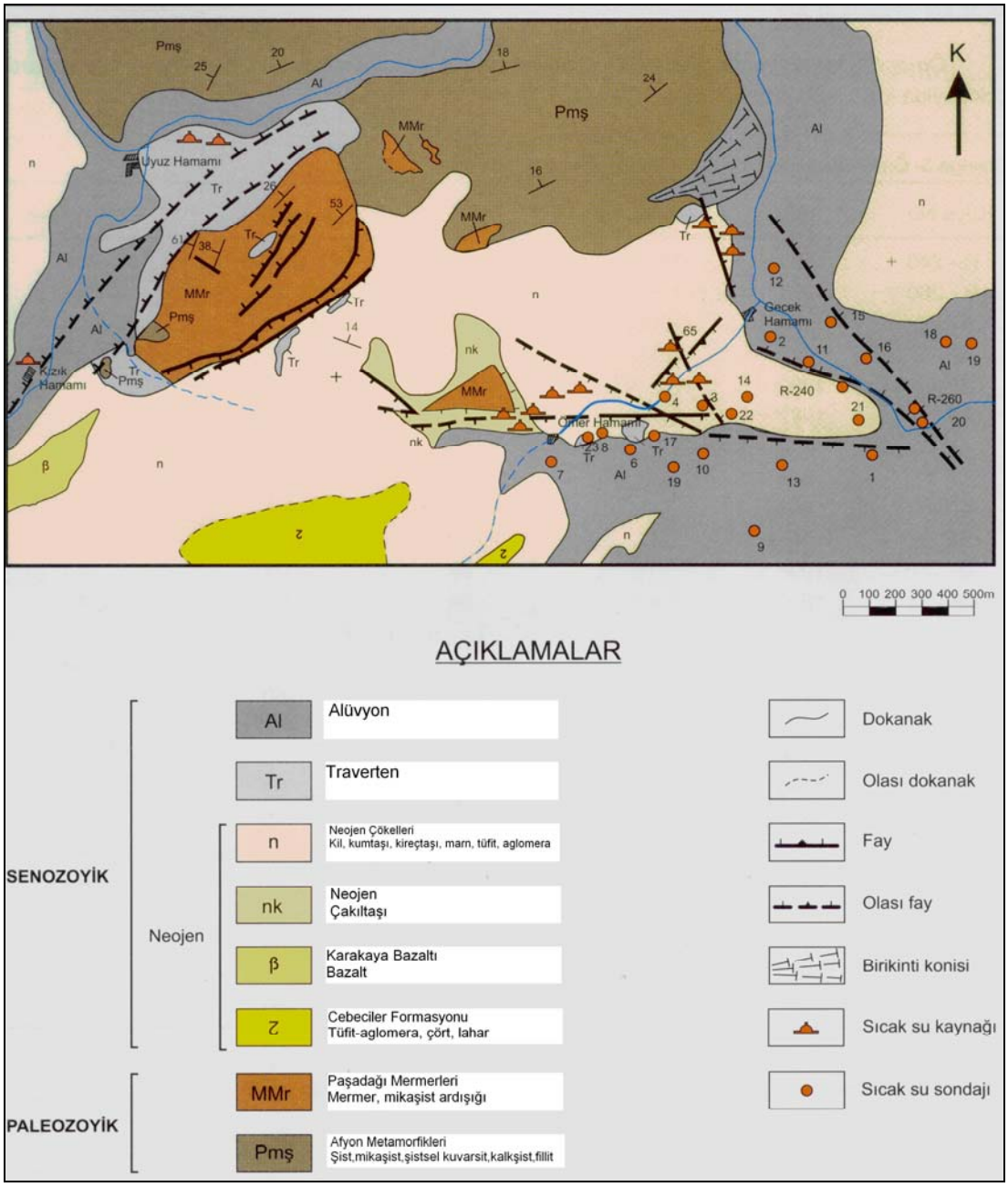
2.2 Çalışma Alanının Jeolojisi

Ömer-Gecek jeotermal alanının jeoloji haritası Şekil 2.1 de verilmiştir.

2.2.1. Paleozoik Yaşlı Kayalar

Çalışma alanında en yaşlı birim Paleozoik'e ait şistlerdir. Bu metamorfik temelde mikaşist, şistsel kuvarsit, kalkşist, kuvarslı şist ve fillit egemendir. Bu metamorfik birime Afyon Metamorfikleri denir. Afyon Metamorfikleri, şistlerden ve mikaşistlerle ardalanan kristalize kireçtaşlarından oluşmuştur. Şistler çalışma

alanında geniş yer kaplamaktadır. Genellikle mermerlerin altında ve bazen de Paşadağı Mermeri ile kesişirler. Şistler, sarı, kahverengi, yeşil ve gri renklerde olup; genellikle albit, klorit, muskovit, biyotit şistlerden oluşmaktadır **(Öktü ve diğ., 1997).**



Şekil 2.1: Ömer-Gecek jeotermal alanının jeoloji haritası **(Erişen, 1976)**

Afyon Metamorfiklerinin bir üyesi olan şistler çalışma alanında kahverengi ve yeşil renklerde olup, geniş yer kaplamaktadır. Şistler granoblastik dokuda olup; yeşil şist fasiyesini temsil ederler. Şistlerin üzerinde geçişli olarak kristalize kireçtaşları (mermer) yer alır. Yer yer mikaşist ve kalkşistlerle de ardalanan kristalize

kireçtaşlarının (mermer) kalınlığı en fazla 80 metredir **(Erişen, 1976).** Paşadağı Mermerleri tipik olarak Paşa Dağı'nda gözlenmiştir. Beyaz, gri renkli, sert ve kristalize görünümlüdürler. Sahada sırasıyla beyaz, yeşil, gri ve kırmızı renklerde sıralanmışlardır. Paşadağı Mermerleri tabanda şistlerle ve üstte de Tersiyer sedimentleri ile kaplanmıştır **(Metin ve diğ., 1987)**.

2.2.2. Senozoik Yaşlı Kayalar

2.2.2.1. Gebeciler Formasyonu

Birim adını çalışma alanının dışında olan Gebeciler Beldesinden almaktadır. Mezozoik sonrası, bölge erozyona maruz kalmış ve Gebeciler Formasyonu Üst ve Orta Miyosen yaşlı kristalize metamorfik tabana uyumsuz olarak çökelmiştir. Birim genellikle beyaz ve grimsi beyaz renklerde olup, çakıltaşı, kumtaşı, aglomera, tüf, tüfit, marn, killi kireçtaşı, silisli kireçtaşından oluşmuştur. Marnlı ve killi tabakaların bulunması; Gebeciler Formasyonunun, jeotermal alanın örtü kayaçları olarak düşünülmesine neden olur. Gebeciler Formasyonu, Özburun Çakıltaşları, Seydiler Tüfü, Kocatepe Trakitleri ve Akpınar Kireçtaşlarından oluşmuştur **(Metin ve diğ., 1987, Öktü ve diğ., 1997)**.

2.2.2.2. Afyon Volkanik Kayaları

Çalışma alanında Geç Miyosenden Erken Pliyosene kadar olan zamanda değişik aralıklarla karasal volkanizma etkili olmuştur. Bu volkanizmanın sonucu olan tüfler, aglomeralar, andezitik, trakitik, trakiandezitik, bazaltik kompozisyonda lav akıntıları yaygın olarak sadece Ömer-Gecek sahasında değil bütün Afyon sahasında gözlenebilirler **(Keller ve Villari, 1972).** Afyon Volkanikleri yüksek potasyum içeren volkanik birkaç üyeden oluşur. Afyon Volkaniklerinin bir üyesi olan Karakaya Bazaltı, arazide koyu kahverengi ve siyahımsı rengi ile hemen göze çarpar. Bu bazaltlar piroksen, ojit, biyotit (opak mineral olarak), labradoritten (porfiritik kristal olarak) oluşur. Matriks malzemesi camdır. Kristalen doku gözlenmiştir.

Magmatik etkinlikle ilgili en yaşlı kayalar, Afyon trakitik volkanizmasına bağlı trakitik, trakiandezitik ve andezitik volkanitler ile bunların tüfit, aglomera ve lahar gibi kırıntılı ürünlerdir. Alanda en genç volkanizmayı bazalt lavlardan oluşan Karakaya Bazaltları'na ilişkin volkanik etkinlik oluşturur. Söz konusu bazalt lavları en genç kırık zonlarına bağlı olarak yüzeylenirler. Orta Miyosenden, geç Üst

Miyosen'e kadar bölgede yüzey volkanizmasının değişik aşamaları yaygın olarak görülür. Potasyum-Argon radyometrik yaş tayin metoduna göre 8 ile 14,75 milyon arasındadır **(Besang ve diğ., 1977).**

2.2.2.3. Neojen Çökelleri

Şist ve veya kristalize kireçtaşlarının üzerine açısal uyumsuzlukla Neojen çökelleri oturur. Bu birim çakıltaşı ile başlayıp, kumtaşı, kiltaşı, kireçtaşı, marn ile devam eder. Daha üstlerde ise tüfit-aglomera, çört ve lahar ile temsil edilen birimin maksimum kalınlığı 300 m dolayındadır. Traverten çökelleri ve alüvyon en genç birimlerdir **(Erişen, 1976).**

2.2.2.4. Alüvyon

Kum, çakıl, silt ve kil boyutundaki birleşmemiş sedimentlerden oluşan alüvyonlar, ovalarda ve nehir yataklarında geniş alanlarda uzanırlar. Bu malzemeler metamorfik kayaç parçalarının, Neojen çökellerin ve volkanik kayaların yavaş hareketi sonucu oluşmuştur. Alüvyonun kalınlığı 50 ila 150 m arasındadır. Alüvyon çökelleri inceleme alanının Akarçay çevresinde ve güneybatı kesimlerinde bulunmaktadır.

2.2.2.5. Yamaç Molozu (Birikinti Konisi)

Yamaç molozu genellikle çalışma alanındaki tepelerin yamaç ve eteklerinde açılı ve kırıntılı olarak gözlenmiştir. Arazinin bazı bölgelerinde konik depozitlerle birlikte bulunmaktadır.

2.2.2.6. Traverten

Jeotermal suların getirdiği çözünmüş maddelerinin çökelmesi sonucu oluşan travertenler, sıcak su çıkışı olan yerlerin çevrelerinde görülür. Oyuklu Tepe'de çalışma alanının batısında ve başlıca olarak Ömer ve Gecek hamam çevrelerinde gözlenmektedir. Kalınlığı 5 ila 10 m arasındadır **(Metin ve diğ., 1987; Çevikbaş ve diğ., 1990).**

2.3. Tektonik

Anadolu'nun tektonizması Türkiye'deki jeotermal alanların oluşumuna sebep olmuştur. **Ercan (2000)** birleşen modeline göre en sıcak alanlar kuzey güney boyunca sıkışma sonucu oluşan ve halen günümüzde de devam eden doğu batı

uzanımlı genişleme sonucu oluşan faylar ve sedimentler arasındaki alanlardır. Anadolu birçok tektonik olaydan etkilenmiştir. Bunların aktiviteleri Batı Anadolu'da Neojenden beri devam etmektedir. Bu olaylar sonucu Ege'de Grabenler oluşmuştur. Afyon volkanizması bu tektonik hareketlerin sonucu olarak meydana gelmiştir **(Çelik ve Sabah, 2002).**

2.4. Çalışma Alanının Hidrojeolojisi

2.4.1. Jeotermal Alanın Karakteristiği

Jeotermal suların ısı kaynağı genellikle henüz soğumamış magma bloğu, genç bir volkanizma veya anormal yeraltı ısı akısıdır. Jeotermal sistemler meteorik suların geçirimli bir tabakadan rezervuar kayalara sızması ile tamamlanır. Geçirimsiz bir örtü ile kaplanan rezervuar kayasında ısınan akışkan, yüzeye ulaşmak için çatlakları ve fayları kullanır **(Ölmez, 2000).**

Faylar sonucunda Ömer-Gecek jeotermal alanında birçok sıcak su kaynağı oluşmuştur. Bu kaynakların sıcaklıkları 25–92 ^{o}C arasında olup, debileri 0,1 ila 3 litre/saniyedir. Fakat bu kaynakların çoğu sahadaki sondaj çalışmaları yüzünden kurumuştur **(Erişen, 1976).**

Jeotermal sıvıların gerek taşıdığı gerekse de içerdiği minerallerin daha sığ yerlerdeki kayalar ile oluşan mineralojik ve kimyasal değişikliklere hidrotermal alterasyon denir. Faylar boyunca ve eski sıcak su kaynaklarında hidrotermal alterasyon gözlenmiştir. Alterasyon izleri olarak sarı renk tonları gözlenmiştir. Gebeciler Beldesinin batısındaki tebeşirler hidrotermal kuvars formasyonları içerir. Buna ek olarak, altere olmuş killere bütün kuyularda rastlanmıştır **(Çelik ve Sabah, 2002).**

Miyosende başlayan, Pliyosen boyunca devam eden tektonik aktivitelere bağlı olarak oluşan volkanizmanın ürünleri, özellikle Afyon'da büyük alanları kaplamaktadır. Bazalt akıntıları volkanik aktivitelerin son fazını oluşturmaktadır. Volkanik kayaları oluşturan magma cepleri, jeotermal sistemin ısı kaynağıdır. Akifer kayaları oluşturan Paşadağı Mermerleri ise Paleozoik yaştadır **(Öktü ve diğ., 1997).** Ayrıca, metamorfik şistler akifer kayası özelliliğini gösterir. Bütün sondajlarda şistler ve mermerlere rastlanmıştır.

2.4.1.1. Akifer Kayaları

Etüt ve sondaj çalışmaları sonuçlarına göre Paleozoik yaşlı kuvarsiti kalkşist, kuvarslı şist ve kristalize kireçtaşları (mermer), Neojen yaşlı çakıltaşı, kumtaşı, bazalt, kireçtaşı ve yöredeki tüm fay zonları akifer niteliğindedir **(Akkuş ve diğ., 2005)**.

Arazi çalışmaları ve sondaj loglarına göre jeotermal sistemin öncelikli akifer kayaları Paleozoik yaşlı Paşadağı Mermerleridir. Bu akifer kayaları karstik yapı özelliği gösterirler. Ayrıca şistlerle birlikte gözlenen kalkşistler rezervuar kayaları oluştururlar. Örneğin, AF-14 kuyusunda kuyu başından 84,8 ila 88,1 metreleri arasında mermerlerle şistlerin kontak zonuna rastlanmıştır **(Öktü ve diğ., 1997).**

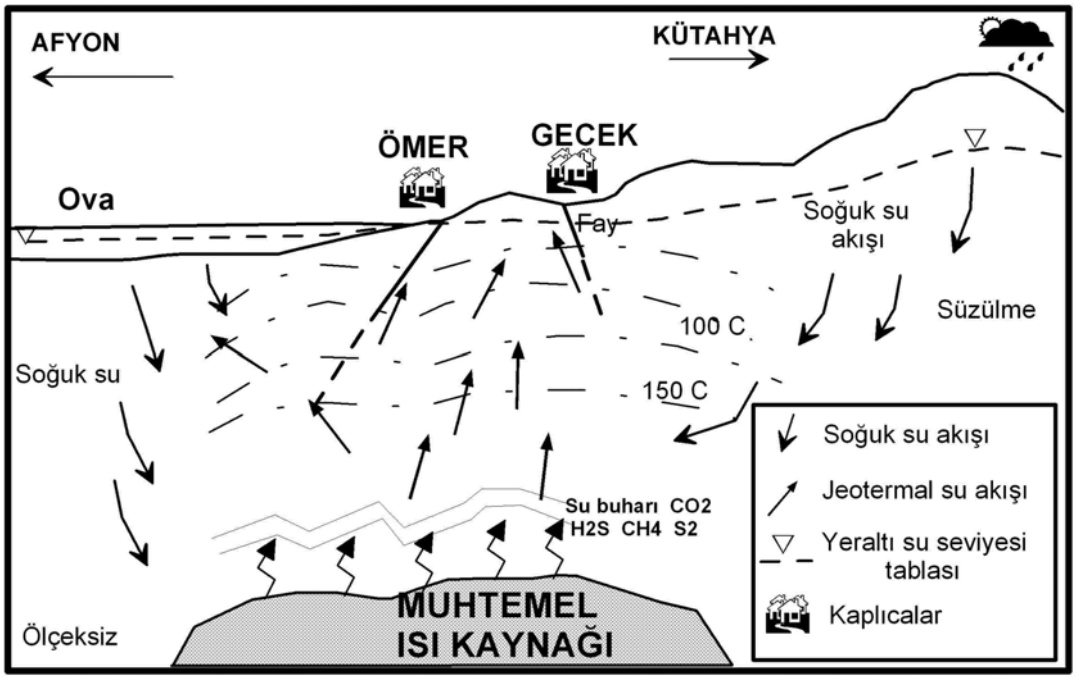
2.4.1.2. Örtü Kayaları

Gebeciler Formasyonunun killi ve marnlı seviyeleri örtü kayalarını oluşturur. Bu birimler jeotermal sistemin ısı kaybını engeller. Orta ve Üst Miyosen yaşlı Gebeciler Formasyonunun kalınlığı doğuya doğru gittikçe artar **(Öktü ve diğ., 1997).**

2.4.2. Hidrojeolojik Çevrim

Alüvyonlarda ve Paşadağı Mermerlerindeki meteorik sıvılar, bu tabakalar boyunca derinlere doğru hareket eder ve Afyon Volkaniklerince oluşan magma ceplerinden ısınır. Bu ısınan sular Horst-Graben sistemini oluşturan ana faylar ve diğer ufak faylar boyunca yüzeye ulaşırlar.

Ömer-Gecek jeotermal sahasının kavramsal modeli Şekil 2.2 de verilmiştir. Jeotermal saha kuzey ve batı yönlerinde tepelerle çevrilidir. Bu yüzden kavramsal modellerde kuzeybatıdan beslendiği gösterilmektedir **(Çelik ve Sabah, 2002; Akan, 2003).** Bu tepeler aynı zamanda Afyon ovasının sınırlarını belirler. Güneye doğru gittikçe yükseltiyle beraber, açılan kuyulardan üretilen suların sıcaklıkları da düşer. Yaklaşık 5 km güneyde İkbal Termal tarafından açılan kuyulardan üretilen suların sıcaklıkları nispeten daha düşüktür.



Şekil 2.2: Ömer-Gecek jeotermal sahasının kavramsal modeli **(Çelik ve Sabah, 2002)**

2.4.3. Jeotermal Suyun Kimyası

Mutlu (1998) tarafından Ömer-Gecek jeotermal sahasındaki kuyulardan alınan jeotermal suların kimyasal analizi Tablo 2.1 de verilmiştir. pH değerleri 6,25 ile 7,10 arasında değişmektedir. Termal sulardaki toplam çözünmüş madde miktarı (TÇM) 2807 ile 6018 mg/litre arasındadır. Kalsiyum karbonat ve kalsiyum iyonunun örneklerde çok bulunması, suların mermer ve kireçtaşı ile temas halinde olduklarını göstermektedir. Çok miktarda Cl^- iyonunun bulunması suların derinlerden geldiği ve uzun zaman kayaçlarla temas halinde olduklarını gösterir **(Mutlu, 1998).**

Tablo 2.1: Ömer-Gecek jeotermal sahasındaki kuyulardan alınan suların kimyasal analizi **(Mutlu, 1998)**

	AF-1	AF-4	AF-8	AF-9	R-260
	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
pH	6,70	6,70	6,95	6,25	7,10
TÇM	6018	5900	4816	2807	5869
Ca	214,6	78,8	205,0	157,0	105,8
HCO_3	1628	1294	1397	1007	1350
Cl	1754	1862	1261	544	1842
SO_4	494,0	536,6	450,2	207,4	513,6

2.4.4. Jeotermometre

Ömer-Gecek jeotermal alanındaki termal sulara uygulanan jeotermometre sonuçları **(Mutlu, 1998)** tarafından verilmiştir. **Fournier ve Potter (1982), Arnorsson (1985)** kuvars termometrelerine göre rezervuar sıcaklıkları 105 ile 180 ^{o}C arasında değişmektedir. **Fournier (1977), Arnorsson ve diğ., (1983)** kalseduan jeotermometresi 75 ila 158 ^{o}C arasında olup, göreceli olarak daha düşük sonuçlar vermektedir. Her suyun katyon jeotermometresine göre rezervuar sıcaklıkları, silis jeotermometresi sonuçlarından daha yüksek çıkmaktadır. **Arnosson ve diğ., (1983), Giggenbach (1988)** Na-K jeotermometrelerine göre sırasıyla 171-193 ^{o}C ve 213-230 ^{o}C çıkmıştır. **Giggenbach (1988)** K-Mg jeotermometresine göre en yüksek sıcaklık 145 ^{o}C dir. **Fournier ve Potter (1979)** Na-K-Ca-Mg jeotermometresi uygulandığı zaman rezervuar sıcaklıkları 85-155 ^{o}C arasında çıkmıştır. Bu değerler 105-180 ^{o}C arasında çıkan kuvars ve 75-158 ^{o}C arasında çıkan kalseduan jeotermometreleri ile de uyumludur. Ömer-Gecek jeotermal sahası için yapılan entalpi-klor diyagramlarına göre rezervuar sıcaklığı 125 ^{o}C çıkmıştır. Bu sıcaklık kimyasal jeotermometreler ile uyumludur **(Mutlu, 1998).**

3. VERİLERİN SUNULMASI

3.1. Önceki Çalışmalar

Karaca ve diğ., (1995) İstanbul için ısı adası etkilerini araştırırken homojenliğe değinmişler ve trend analizleri yapmışlardır. **Tayanç ve diğ., (1998)** Türkiye'deki sıcaklık veri setlerini grafik, Wald-Wolfowitz ve Kruskal-Wallis homojenlik testleri yöntemleriyle test etmişlerdir. Afyon'un sıcaklık veri setinin homojen olduğu belirtilmiştir. **Türkeş ve diğ., (2002)** Türkiye'deki 70 klima istasyonunun verilerine dayanarak, 1929-1999 arasındaki ortalama, maksimum ve minimum sıcaklıkların eğilimlerini ve homojenliklerini incelemişlerdir.

Thom (1952) A.B.D. (Amerika Birleşik Devletleri) için derece-gün haritası üretmiş, daha pratik yollardan derece-gün değerleri hesaplama yöntemi geliştirmiştir. Ayrıca, sıcaklıkların normal dağılım gösterdiği belirtmiştir. **Guttman (1983)** A.B.D.'ni dokuz ayrı nüfus bölgesine ayırarak bu bölgeler için 1931-1981 arası ısıtma derece-gün değerlerini bulmuştur. Bu değerlerin nasıl değiştiğini ve nüfusun iklimle ilişkisini belirtmiş, göçle birlikte enerji ihtiyacının nasıl değiştiğini hesaplamıştır. **Downton ve diğ., (1988)** A.B.D. toplam nüfusunu kullanarak 1895-1983 yılları arasındaki kişi başına düşen ısıtma ve soğutma derece–gün değerlerini hesaplamışlardır. **Kadıoğlu ve diğ., (1999)** Türkiye'deki 255 meteoroloji istasyonunun verileri kullanılarak, değişik taban sıcaklıklarında ısıtma derece-gün değerleri hesaplanmış ve bunlar haritalandırılmıştır. Derece-günlere etki eden deniz ve göl etkisi, dağların etkisi, hava kütleleri gibi etkenlere vurgu yapılmıştır. **Satman ve Yalçınkaya (1999)** ısıtma için 15, 17 ve 18,3 ^{o}C sıcaklıkları, soğutma için 24, 26, 27 ve 30 ^{o}C sıcaklıkları taban alarak Türkiye'deki 77 merkez için gerekli olan ısıtma ve soğutma derece-saatlerini hesaplamışlardır. **Büyükalaca ve diğ., (2001)** Türkiye'deki şehir merkezleri için günlük azami ve asgari sıcaklıkların ortalamasını, günlük ortalama sıcaklık olarak kullanarak değişik taban sıcaklıklarında ısıtma ve soğutma derece-gün değerlerini hesaplamışlardır. **Gültekin (2001)** Türkiye'deki 253 meteoroloji istasyonu için değişik taban sıcaklıklarında derece-gün değerlerini bulmuş hatta bazı şehir merkezleri için ısıtma derece-gün formülleri vermiştir.

Bayraktar (2002) tarafından Türkiye'deki 218 meteoroloji istasyonunun 1 Haziran 1978–31 Mayıs 1998 tarihleri arasındaki dönemi kapsayan 7304 gün için günlük ortalama hava sıcaklıklarından yararlanılarak; iki günlük ortalama sıcaklık ortalamaları serileri üretilmiştir. Aynı zamanda Amerikan, Alman ve yeni önerilen yöntemlere göre dış hesap sıcaklıkları hesaplanmıştır.

Ünal ve diğ., (2003) sıcaklık ve yağış verilerini kullanarak Cluster (küme) analizi metoduyla Türkiye'yi yedi farklı iklim bölgesine ayırmışlardır. Bu çalışmaya göre Afyon, Orta Anadolu Bölgesinde yer almaktadır.

Kutiel ve Benaroch (2002) kutupları Kuzey Denizi ve Hazar Denizi'nin kuzeyinde yer alan, 500 hPa seviyesindeki geopotansiyel seviyeleri arasındaki farkı temel alan bir örüntü göstergesi üretmişlerdir. **Kutiel ve diğ., (2002)** daha önce **Kutiel ve Benaroch (2002)** tarafından üretilen NCPI'ni İsrail, Türkiye ve Yunanistan'daki değişik iklim bölgelerine ait istasyonların sıcaklık ve yağış verilerine uygulayarak; diğer uzak etkileşimlerle karşılaştırmıştırlar. İncelenen meteorolojik değişkenler için NCP, Güney Salınımı ve Kuzey Atlantik Salınımı örüntülerinden daha yüksek ilgileşim değerleri vermiştir. **Kutiel ve Türkeş (2005)** NCP etkilerini Kapadokya Bölgesi'ndeki çeşitli meteoroloji istasyonlarının sıcaklık ve yağış verilerinde incelemişlerdir.

3.2. Meteorolojik Veriler

Sıcaklık ölçümleri termometre ile yapılmaktadır. Güneşlenme şiddeti ölçümleri aktinograf ile yapılmakta ve gün sonunda çıkarılan aktinograf diyagramı rasatçı tarafından değerlendirilmektedir. Rüzgar ölçümleri anemograf ile yapılmaktadır. Çalışmada kullanılan rüzgar ve sıcaklık değerleri 07, 14, 21 lokal saatlerde klima rasatlarında kaydedilen değerlerden ibarettir. Güneşlenme şiddeti ise günlük toplam değeri vermektedir.

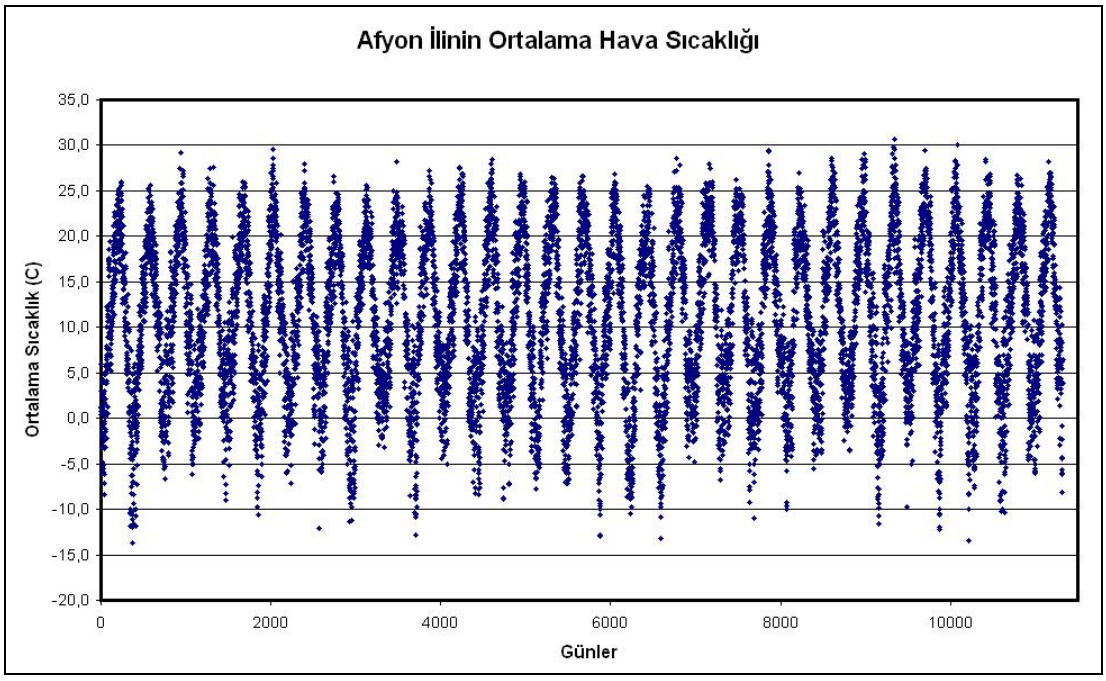
3.3. Ortalama Hava Sıcaklığı

AFJET'in sıcak su tüketimi dış hava sıcaklığına bağlı olarak değişecektir. Isı hesaplarında, kullanılan ana değişken sıcaklıktır. Bundan dolayı ortalama hava sıcaklıkları kullanılmış ve bunların homojenliği test edilmiştir. Kullanılan ortalama hava sıcaklık değerleri DMİ'den alınmıştır. Bu değerler Dünya Meteoroloji Teşkilatı'nın tüm dünyada standart olarak kabul ettiği hava sıcaklığı ölçümleri ve

değerlendirilmesine göre yapılmaktadır. Günlük ortalama hava sıcaklığı klima rasatlarında ölçülen değerlerden elde edilir (Denklem 3.1). Klima istasyonlarında klima rasatları mahalli saat 7, 14, ve 21 de yapılır. Yerel saatler güneş durumuna göre olup tüm istasyonlar için farklı değerdedir.

$$T_{ort} = \frac{T_{07} + T_{14} + 2(T_{21})}{4} \qquad \text{(Denklem 3.1)}$$

Afyon Meteoroloji İstasyonu için, DMİ.'den alınan veriler 1975 yılından 2005 yılı da dahil olmak üzere toplam 11323 günü kapsamaktadır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1: Afyon'un günlük ortalama sıcaklıkları (1975-2005)

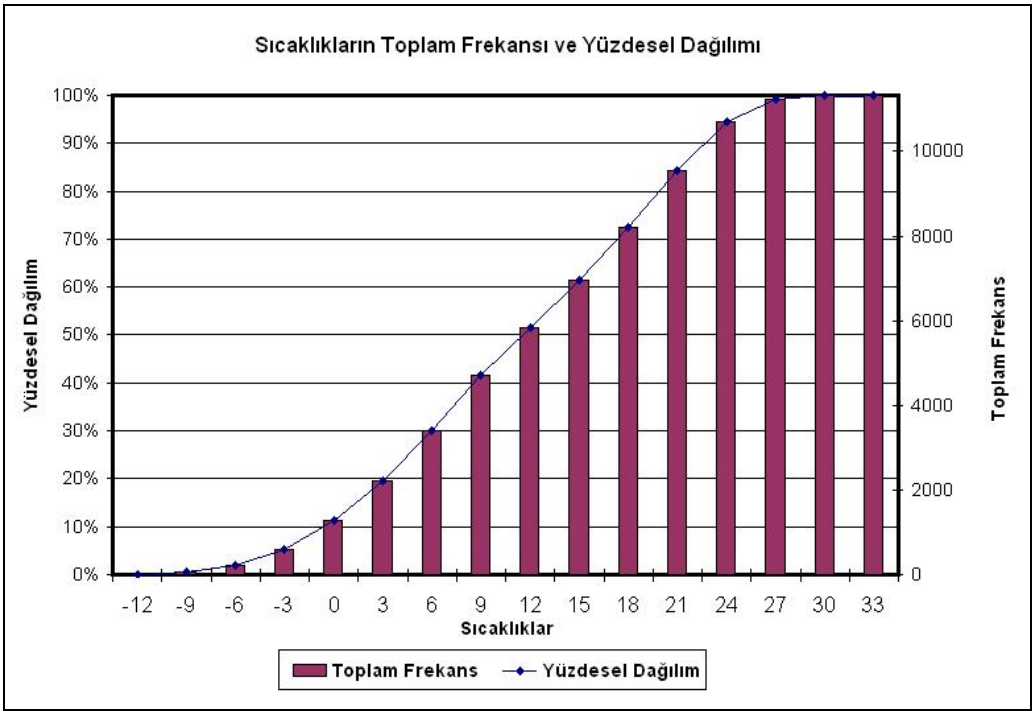
3.3.1. Ortalama Hava Sıcaklıkların Dağılımı

Sıcaklıklar dağılım olarak normal dağılım özelliği gösterirler. Histogramlarla gösterimde seçilen aralıklar yanıltıcı olabilir. Bu özellik histogramların en önemli eksikliğidir. Histogramlar şeklin ortaya çıkması, simetrinin, bükümlülüğün gözlenmesinde oldukça faydalıdır. Histogramlarda kullanılan veri sayısı n olmak üzere, kullanılacak aralık sayısı k, $2^k \geq$ n olmak üzere k en küçük tam sayıdır **(Iman ve Canover, 1983)**. Bu yüzden Afyon için k sayısının 14 alınması uygun olabilir. Gerek -12 ^oC den daha düşük gerekse de 33 ^oC den daha büyük değerlerin pek olmaması dolayısıyla bu iki değer arasını 14 değer aralığı ile ifade edilmiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2: Afyon ili için günlük ortalama sıcaklık histogramı

1975 ile 2005 yılları arasındaki günlük ortalama sıcaklıkların toplam sıklıkları ve bunların yüzdesel dağılım grafiği Şekil 3.3 verilmiştir. Bu dağılımlar, kullanılacak ortalama dış hava sıcaklıklarını belirlemek için faydalı olacaktır.



Şekil 3.3: Günlük ortalama sıcaklık toplam frekansları ve yüzdesel dağılım grafiği

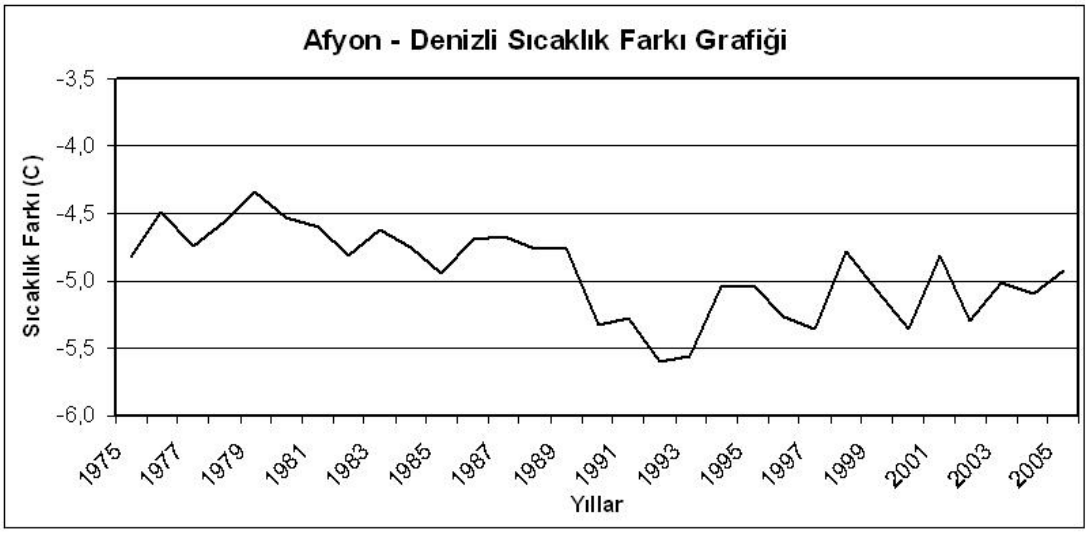
3.3.2. Homojenlik Testleri

Kullanılan meteorolojik verilerin homojenliğinin sınanması gerekmektedir. Bu yüzden homojenlik testi için en uygun veri olan sıcaklık, homojenlik testlerine tabi tutulmuştur.

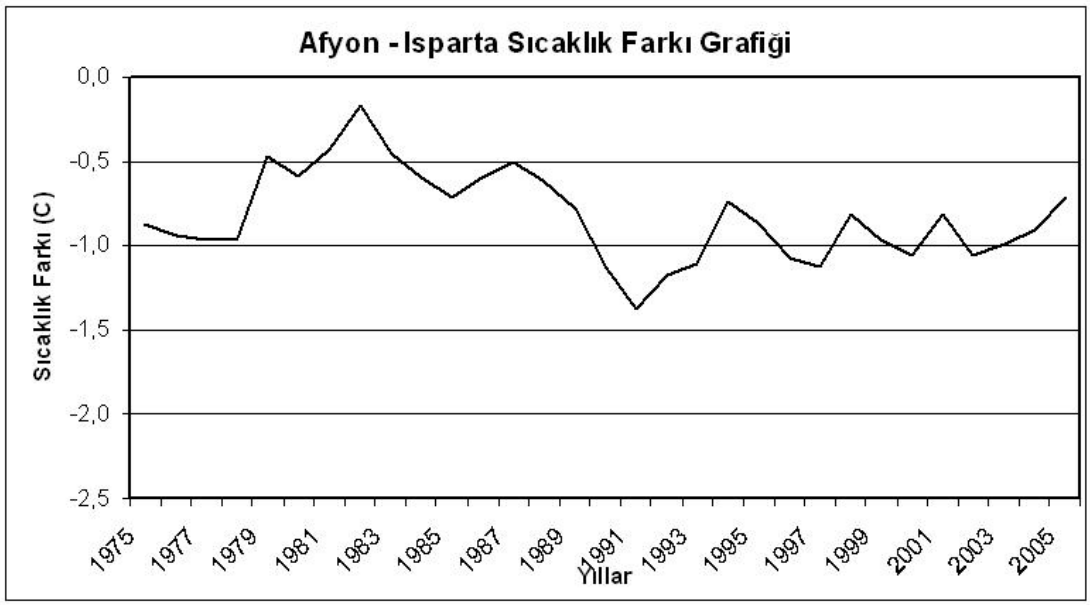
3.3.2.1. Grafik Yöntemi

Her hangi bir serinin homojenlik analizlerinde gerekli ilk adım olan değerleri bir eksen üzerinde işaretleme çok faydalıdır. Özellikle sıcaklıkların homojenliğini test ederken yüksek ilgileşime veya aynı benzer özelliklere sahip iki istasyon arasındaki yıllık sıcaklık farklarını çizmek en faydalı işlemdir **(Mitchell ve diğ., 1966).** Eğer üretilen zaman serisinde herhangi bir sıçrama olursa serinin homojen olmadığını ifade eder.

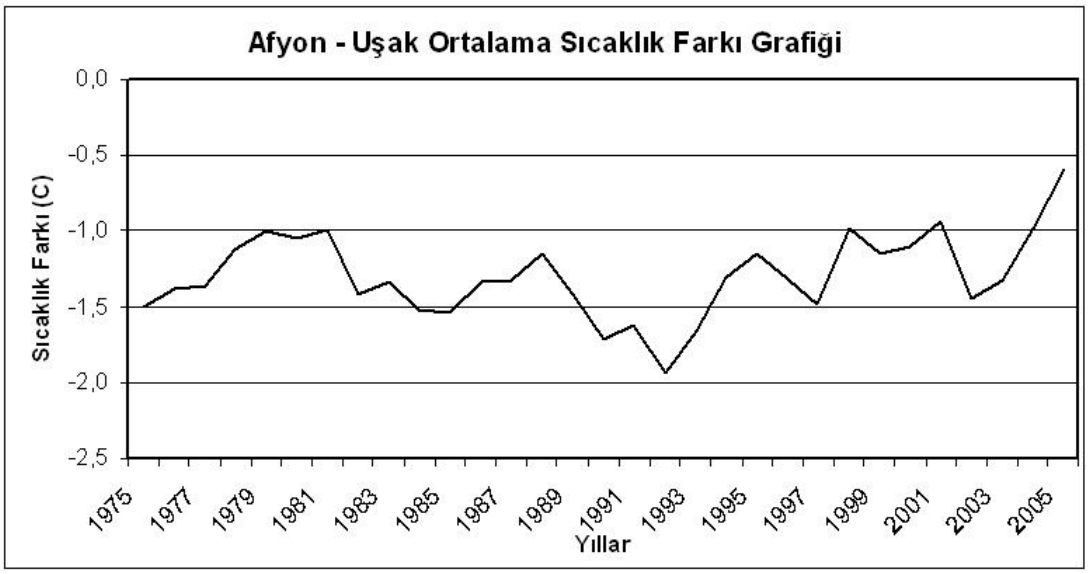
Afyon'un çevresindeki iller Denizli, Eskişehir, Isparta, Kütahya, Konya ve Uşak'tır. DMİ'den alınan istasyon ve rasat ölçüm bilgilerine göre Eskişehir meteoroloji istasyonunun yeri değişmiştir. Afyon'un çevre istasyonlarla arasındaki yıllık ortalama sıcaklık farkları verilmiştir (Şekil 3.4-8).



Şekil 3.4: Afyon ile Denizli arasındaki yıllık ortalama sıcaklık farkı (1975-2005)

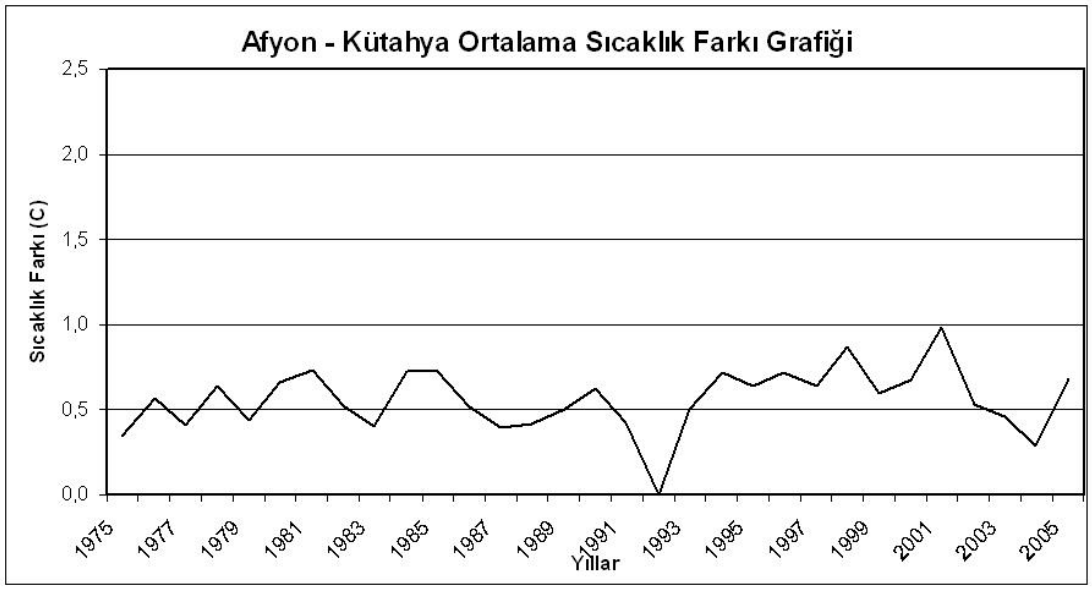


Şekil 3.5: Afyon ile Isparta arasındaki yıllık ortalama sıcaklık farkı (1975-2005)



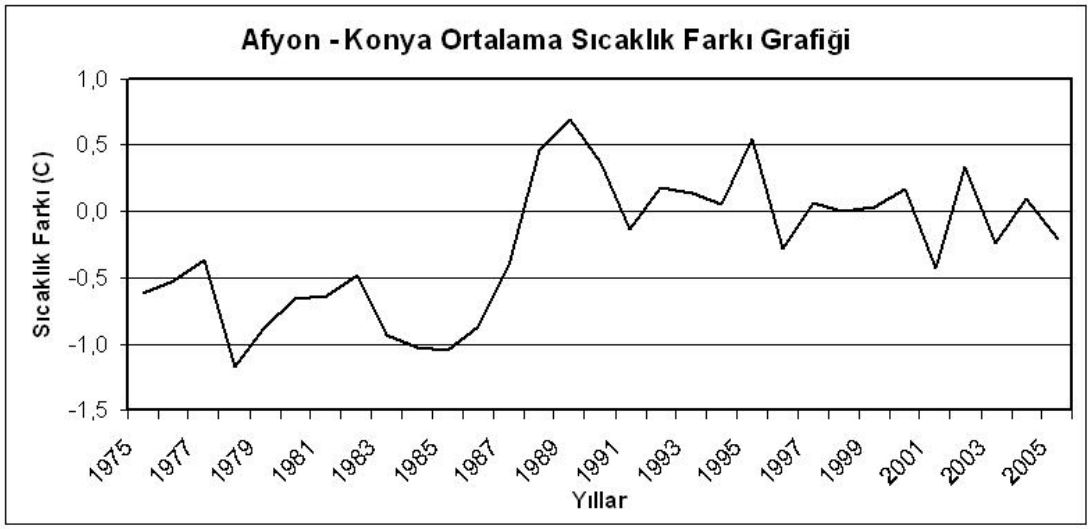
Şekil 3.6: Afyon ile Uşak arasındaki yıllık ortalama sıcaklık farkı (1975-2005)

Afyon ile Kütahya yıllık ortalama sıcaklıkları arasındaki fark genellikle 0,6 ^{o}C ve birbiri arasındaki ilgileşim dikkat çekicidir **(Şekil 3.7).** Gerek benzer iklim özelliklerine sahip olması gerekse de coğrafi konum olarak yakın olmaları sebebiyle her ikisinin veri seti de aynı özellikleri göstermektedir.



Şekil 3.7: Afyon ile Kütahya arasındaki yıllık ortalama sıcaklık farkı (1975-2005)

Konya'nın Afyon ile olan yıllık ortalama sıcaklık farkında 1988 yılındaki sıçrama dikkat çekicidir (Şekil 3.8). Konya istasyonu 1988 yılına kadar şehir merkezinde yer alırken, 1988 yılında eski istasyondan yaklaşık olarak 18 km uzaklıktaki ve şehir dışında bulunan hava limanına taşınmıştır. Konya sıcaklık veri seti için zaman serisindeki homojensizlik belirgindir.



Şekil 3.8: Afyon ile Konya arasındaki yıllık ortalama sıcaklık farkı (1975-2005)

3.3.2.2. Spearman Sıra İlgileşim Sınaması

Spearman sıra ilgileşim sınaması değişken olmayan bir sınama olup, iki veri seti arasındaki ilgileşimi incelemeye yarar. Verilen ham değerler kendi kümesi içinde küçükten büyüğe doğru sıralanır ve sıra değerlerini alır. Burada aynı olan değerler

için, sıra değerleri toplanıp aynı olan değer sayısına bölünür. Pearson ilgileşim katsayısından farkı, sıra değerleri arasında ilgileşim arandığı için; ham verilerdeki uç değerlerin kontrol altına alınmasıdır.

Spearman sıra ilgileşim değeri hesaplama yöntemi Denklem 3.2 de verilmiştir. Değerlendirmeye alınan yıllar 1975'ten 2005'e kadardır. Burada N sayısının değeri 31'dir.

$$\rho = 1 - \frac{6\ \Sigma(R_1 - R_2)^2}{N\ (N^2 - 1)} \qquad \text{(Denklem 3.2)}$$

ρ = Spearman sıra ilgileşim değeri

N = Sayı çifti sayısı

R_1 = Birinci veri kümesi için sıralama değerleri

R_2 = İkinci veri kümesi için sıralama değerleri

Afyon ilinin yıllık ortalama hava sıcaklıkları çevresindeki diğer iller ile karşılaştırılmış ve bulunan Spearman sıra ilgileşim değerleri (ρ) verilmiştir (Tablo 3.1). Bulunan değerler %5 güven aralığı içindedir.

Tablo 3.1: Afyon ile diğer illerin yıllık ortalama sıcaklık değerlerinin karşılaştırılması sonucu elde edilen Spearman sıra ilgileşim değerleri (ρ).

Denizli	0,846
Isparta	0,891
Konya	0,699
Kütahya	0,980
Uşak	0,868

Bu değerler Afyon ve Kütahya arasında yüksek ilgileşim olduğunu; Isparta, Denizli ve Uşak'ın coğrafi uzaklık sebebiyle Kütahya'ya nazaran daha az ilgileşim gösterdiğini; Konya'nın ise şehir dışına taşınması sebebiyle en düşük ilgileşim gösterdiğini göstermektedir.

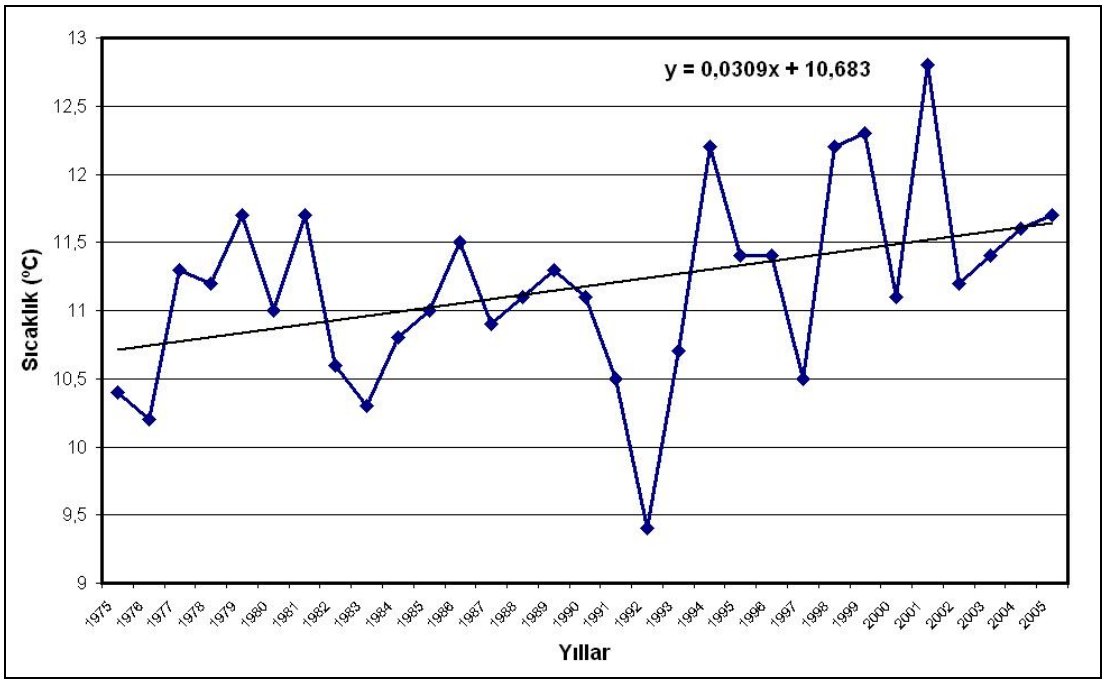
3.3.3. Eğilim Analizi

Eğilim analizi sıcaklıkların eğilim yönünü belirlemek için faydalıdır. Özellikle günümüzde şehir merkezlerinde kalan meteoroloji istasyonları, şehirlerin oluşturduğu ısı adasından etkilenmektedir. Bunun en iyi örneği şehir merkezindeki Konya meteoroloji istasyonun, şehir dışına alınmasında gözlemlenir. Bu yüzden sıcaklıkların eğilimini bilmek önemlidir. Ayrıca sıcaklıklardaki yükseliş eğilimi,

konutlar için ısıtmada daha az enerjiye gereksinim duymasına neden olurken; soğutma için daha fazla enerjiye neden olmaktadır.

3.3.3.1. Grafik Yöntemi

Yıllık ortalama sıcaklıkların çizildiği zaman ve bunlardan eğim çizgisi geçirilirse bu eğim çizgisinin eğimi eğilimi verir. En kolay ve anlaşılabilir eğilim doğrusal olanıdır. Afyon'a ait doğrusal eğilim geçirilmiş yıllık ortalama sıcaklıklar Şekil 3.9 da verilmiştir. Bu eğilime göre 1975 ile 2005 yılları arasında yıllık ortalama hava sıcaklığı artmaktadır. Bu sıcaklık artışı yılda 0,0309 ^{o}C ve bu 31 yıllık dönemde yaklaşık olarak 0,95 ^{o}C'dir. Sıcaklık artışı ısı adası etkisinden olabilmektedir.



Şekil 3.9: Afyon yıllık ortalama hava sıcaklıkları (1975-2005) ve eğim çizgisi

3.3.3.2. Sıralı Mann-Kendall Sınama Yöntemi

Mann-Kendall sınaması yağış ve sıcaklık gibi meteorolojik değişkenlerin yönelimlerini bulmak için kullanılır. Sıralanan bütün y_i (i>j) değerleri için, n_i sayısı (y_i>y_j) değeri bulunur. *t* değeri (Denklem 3.3) hesaplanır.

$$t = \sum_{i=1}^{n} n_i \qquad \text{(Denklem 3.3)}$$

Null hipotezi koşullarında, sınama istatistiklerinin dağılım fonksiyonu asimptotik normallerdir. Dağılım fonksiyonunun ortalama değeri *E(t)* ve saçınımı *var(t)* hesaplanır (Denklem 3.4).

$$E(t) = \frac{n(n-1)}{4} \qquad \text{var}(t) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{72} \qquad \text{(Denklem 3.4)}$$

Sınama istatistik değeri *u(t)* hesaplanır (Denklem 3.5).

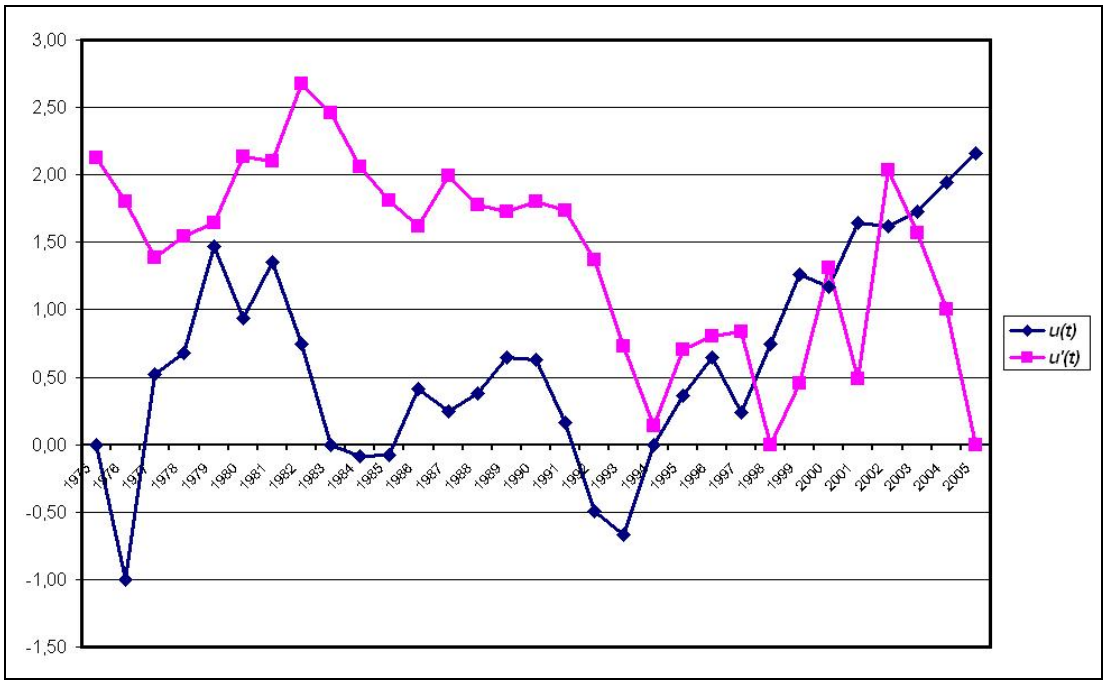
$$u(t) = \frac{[t - E(t)]}{\sqrt{\text{var}(t)}} \qquad \text{(Denklem 3.5)}$$

Standart normal dağılım tablosunu kullanarak α_1 olasılığı bulunur (Denklem 3.6).

$$\alpha_1 = P\left(|u| > |u(t)|\right) \qquad \text{(Denklem 3.6)}$$

Null hipotezi α_0 seviyesinde $\alpha_1 > \alpha_0$ veya $\alpha_1 < \alpha_0$ durumuna göre kabul veya reddedilir. *u(t)* değerlerinin anlamlı olduğu değerlerde, *u(t)>0* veya *u(t)<0* durumları için azalan veya artan eğilim gözlemlenebilir **(Sneyers, 1990).**

Afyon için 1975-2005 yılları arasında yıllık ortalama hava sıcaklıkları kullanılarak hazırlanan sıralı Mann-Kendall testi grafiği Şekil 3.10 da verilmiştir. Bu grafiğe göre, 1994 yılında başlayan artış trendi 2005 yılında da normal standart dağılımda 0,05 güven aralığı için eşik değeri olan 1,96 değerini aşmasından dolayı anlamlıdır. Ayrıca Mann-Kendall ile elde edilen bu eğilim, Şekil 3.9 gösterilen doğrusal eğilim eğrisi ile de uyumludur. Doğrusal eğilim eğrisinde 1993 yılından günümüze olan artış eğilimi dikkat çekicidir.



Şekil 3.10: Afyon yıllık ortalama sıcaklıklarının Mann-Kendall sınaması eğilimi

3.4. Derece-gün Değerleri

Derece-günler, günün ortalama sıcaklığı ile taban sıcaklığı olarak seçilen her hangi bir sıcaklık arasındaki farktır (Denklem 3.7). Her bölge için ısıtma sezonunun başladığı dış sıcaklık ortalaması vardır. Bu başlangıç sıcaklığına taban sıcaklığı denir. Isıtma taban sıcaklığı A.B.D. 65 ^{o}F, karşılığı olan 18,3 ^{o}C alınırken **Thom (1952), Thom (1954) Thom (1954b);** Türkiye'de 15 ^{o}C olarak kullanılmaktadır **(Gültekin, 1995; Kadıoğlu ve diğ., 1999).** Fakat yine de değişik taban sıcaklıklarına göre hesaplamalar yapılmaktadır. Taban sıcaklıkları ile saatlik sıcaklıklar arasındaki farkı alarak derece-saat değerleri bulunabilir. Hatta saatte iki değer alınarak, günde 48 değerin taban sıcaklığı arasındaki farkların toplamıyla derece-saat bulan çalışma vardır **(Hart ve de Dear, 2004).** Derece-günlerin kullanılması ve bulunması çok kolay olduğu için tercih edilmektedir.

$$IDG = \sum_{1}^{n} \gamma \left(T_b - T \right) \qquad \gamma = \begin{Bmatrix} 1 \text{ Eğer } \left(T_b - T \geq 0 \right) \\ 0 \text{ Eğer } \left(T_b - T < 0 \right) \end{Bmatrix} \qquad \text{(Denklem 3.7)}$$

IDG = Isıtma Derece-gün değeri (^{o}C gün)

n = Gün sayısı (gün)

T_b = Taban sıcaklık değeri (^{o}C)

T = Ortalama sıcaklık değeri (^{o}C)

Afyon'u da kapsayan Türkiye'deki şehir merkezleri için hesaplanan değişik taban sıcaklıklarında ve değişik dönemleri kapsayan derece-gün çalışmaları yapılmıştır **(Gültekin, 2001; Büyükalaca ve diğ., 2001). Satman ve Yalçınkaya (1999)** tarafından derece-saat çalışması yapılmıştır.

Derece-günler bir yerin ne kadar enerjiye ihtiyacı olduğunu hesaplamakta kullanılır. Hatta amaca göre ısıtma, soğutma, büyüme, donma, erime ve ağırlıklı derece-gün diye değişik endeksler türetilmiştir **(Gültekin, 1995).**

Afyon için 1975-2005 dönemindeki her yıl için değişik taban sıcaklıklarında hesaplanan derece-gün değerleri Tablo 3.2 de ve bunların ortalamasının alınmasıyla üretilen derece-gün değerleri Şekil 3.11 de verilmiştir. Bu noktalardan geçen eğim eğrisinden formül üretilmiştir (Denklem 3.9). Eğim eğrisi doğrusal değildir. Bunun doğrusal olmama sebebi sıcaklıkları normal dağılım göstermesidir. Diğer çalışmalarla periyodun farklı alınması sebebiyle değişik sonuçlar çıkmıştır **(Satman ve Yalçınkaya, 1999; Gültekin, 2001; Büyükalaca ve diğ., 2001). Büyükalaca ve**

diğ., (2001) tarafından günlük ortalama sıcaklıkları, azami ve asgari sıcaklıklarının ortalamalarının alınmasıyla hesaplanmıştır. Derece-gün hesaplanırken günlük ortalama sıcaklığın asgari ve azami sıcaklıkların ortalaması olarak kullanılması ABD'nde uygulanmaktadır **(Downton ve diğ., 1988).** Türkiye'de uygulanan ortalama sıcaklık hesaplama yöntemi daha önce anlatıldığı gibi daha farklı hesaplanmaktadır.

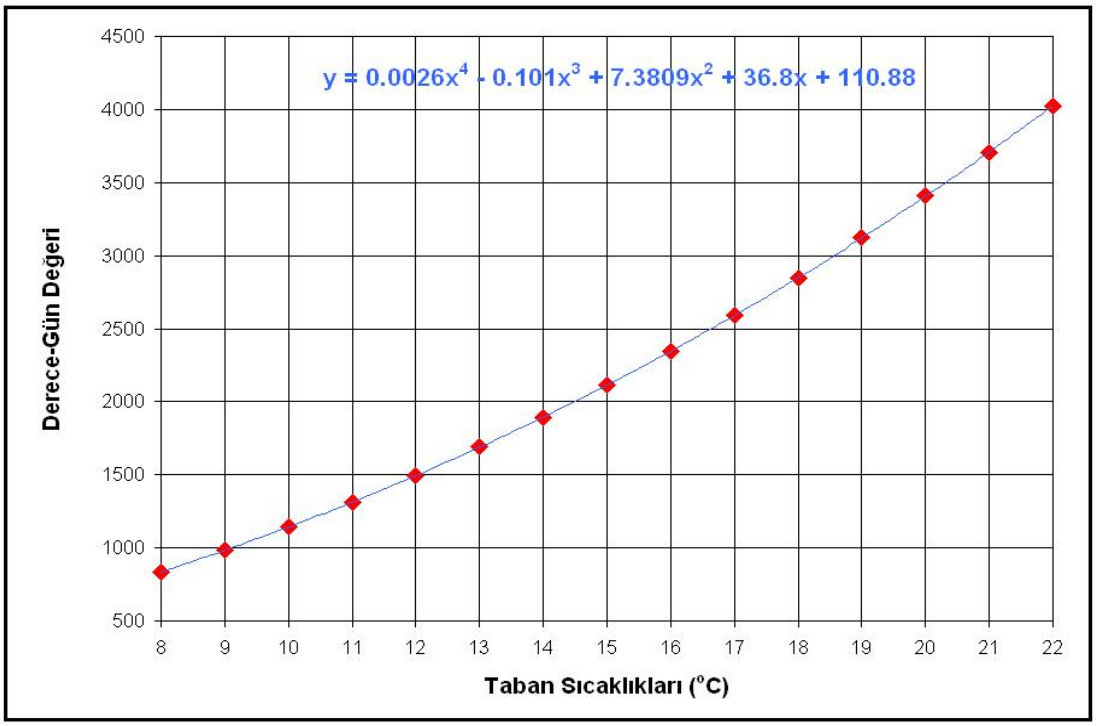
Tablo 3.2: Afyon'un değişik taban sıcaklıklarına göre 1975-2005 arasında gerçekleşen derece-gün değerleri

Yıl	14	15	16	17	18	19	20	21
1975	2077.5	2299.0	2538.0	2793.1	3062.8	3345.5	3643.1	3953.0
1976	2030.2	2260.6	2504.9	2766.6	3042.5	3343.1	3659.8	3994.6
1977	1824.1	2043.1	2271.4	2514.7	2774.1	3047.7	3335.0	3639.3
1978	1768.8	1993.7	2232.7	2487.8	2758.6	3044.7	3345.6	3659.5
1979	1656.6	1874.7	2104.6	2350.0	2611.1	2892.0	3188.5	3499.8
1980	1969.2	2200.0	2443.7	2700.4	2969.6	3248.4	3534.5	3831.8
1981	1662.7	1880.2	2118.1	2372.9	2639.0	2915.1	3201.4	3501.5
1982	1974.7	2198.3	2432.2	2677.7	2945.7	3229.8	3526.1	3841.6
1983	2020.0	2245.0	2485.4	2735.4	3002.3	3290.8	3600.8	3929.7
1984	1940.8	2160.4	2391.5	2635.5	2895.2	3174.6	3477.0	3799.9
1985	1923.6	2135.5	2360.1	2598.3	2851.0	3121.8	3409.7	3716.7
1986	1797.0	2025.1	2267.7	2519.0	2781.6	3051.0	3330.0	3624.5
1987	2037.3	2262.3	2499.6	2744.4	2999.5	3268.3	3548.4	3842.9
1988	1965.1	2184.5	2418.0	2665.8	2921.6	3189.8	3469.7	3767.0
1989	1930.9	2141.3	2365.0	2599.4	2847.6	3110.2	3390.2	3682.4
1990	1914.8	2138.0	2371.2	2617.6	2875.7	3145.0	3428.7	3723.3
1991	2099.2	2326.2	2567.4	2819.8	3083.9	3365.8	3658.2	3961.3
1992	2389.1	2606.4	2842.7	3100.6	3377.9	3668.1	3974.6	4294.4
1993	2076.0	2289.9	2518.7	2767.0	3030.4	3301.9	3585.5	3882.7
1994	1745.9	1952.3	2166.6	2386.2	2614.3	2854.1	3108.4	3381.2
1995	1881.2	2104.2	2330.4	2561.6	2804.6	3059.7	3327.8	3617.8
1996	1829.4	2044.9	2273.2	2517.0	2778.2	3053.6	3341.4	3645.0
1997	2011.3	2233.4	2466.1	2712.1	2974.0	3254.8	3557.1	3876.7
1998	1679.7	1889.9	2113.6	2355.3	2612.2	2876.3	3153.9	3441.0
1999	1572.6	1776.6	1995.1	2231.4	2482.4	2746.3	3028.5	3327.1
2000	2031.7	2249.4	2481.0	2728.6	2986.6	3256.0	3536.9	3829.7
2001	1567.8	1770.5	1984.0	2209.8	2444.1	2686.1	2943.5	3212.1
2002	1915.3	2134.7	2364.7	2611.8	2874.3	3151.6	3441.5	3742.4
2003	1922.4	2135.1	2356.3	2583.9	2820.5	3070.0	3335.8	3618.6
2004	1781.3	1993.6	2220.0	2461.3	2714.0	2978.4	3259.4	3557.5
2005	1765.5	1982.4	2216.2	2462.9	2720.8	2990.9	3272.0	3565.5
Ortalama	**1895.5**	**2113.9**	**2345.2**	**2589.9**	**2848.3**	**3120.4**	**3406.9**	**3708.4**

$y = (-0{,}0026 * x^4)+(0{,}101 * x^3)-(7{,}3809 * x^2)+ (36{,}8*x)+110{,}88$ (Denklem 3.9)

y= Derece-gün değeri (^oC gün)

x= Taban sıcaklığı (^oC)



Şekil 3.11: Afyon için değişik taban sıcaklıklarında hesaplanan derece-gün değerleri

3.5. Afyon İli İçin Dış Hava Sıcaklığının Hesaplanması

3.5.1. Dış Hava Sıcaklıklarının Önemi

Isıtma sistemlerinden en kötü hava sıcaklıklarında dahi ihtiyaca cevap vermesi istenirken, sistemi en kötü hava sıcaklıklarına göre tasarlamak için yüksek kapasiteli sistemler kullanmak gerekir. Böylece gerek ilk yatırım maliyetleri gerekse de atıl kapasite açığa çıkarması dolayısıyla yüksek kapasiteli sistemleri kullanmak genellikle ekonomik olmamaktadır **(Gülferi, 1979; Gültekin ve Kadıoğlu, 1996; ASHRAE, 1997).**

Isıtma sisteminin en şiddetli iklim koşullarında kısa sürelerle istenilen ortam sıcaklığını veya konfor sıcaklığını sağlayamaması, çoğu kez kritik önem taşımamaktadır. Fakat ticari uygulamalarda veya endüstriyel bir üretim sırasında iç ortam sıcaklığının denetimi gerekli olabilmektedir. Bu bakımdan her yapı için özel gereksinimler dikkatle ele alınmalıdır **(Gülferi, 1966; ASHRAE, 1997).** Konutların ve endüstri alanlarının soğuk havalarda ısıtılması ve sıcak havalarda soğulması için gerekli olan enerji; yakıt miktarı, projelendirilen tesisat büyüklüğü ve hava sıcaklığı ile orantılıdır **(Gültekin, 1995; Gültekin ve Kadıoğlu, 1996).**

Isıtma ve yalıtım sistemlerinin projelendirilmesi iklim verilerine dayanmaktadır. Herhangi bir ısıl sistemi boyutlandırmak ve cihaz seçimlerini yapabilmek için öncelikle ısı yükünü yani azami yük de denilen sistemin karşılaşabileceği en büyük yükü bilmemiz gerekmektedir. Azami yük ısıtmada tamamen söz konusu yerdeki iklim şartlarına bağlıdır. İdeal ısıtma ısı kaybına denk olan yeterli ısıyı sağlamalıdır. Bu nedenle bulunan değerler gerçekte geçmişte karşılaşılan iklim şartlarına uygun olmalıdır. Geçmişe dönelik uzun yıllar ısıtma sezonu sıcaklıklarının bilinmesi gereklidir. Genellikle ısıl sistemler, düşük kapasitelerde yanma verimlerinin daha altında daha düşük kapasite ile çalışmaktadırlar. **(Gülferi, 1966; El-Shaarawi ve Al-Masri, 1996).** Eğer sistemler sıkça gerçekleşen sıcaklıklarda çalışırlarsa projelendirilen kapasitelerinde daha sık çalışacaklar ve böylelikle verimleri daha yüksek olacaktır. Ekstrem sıcaklıkların yaşandığı zamanlarda bu tür sistemler gerekli olan ısıyı sağlayamayacaklar ve iç ortamlarda arzu edilen konfor sıcaklığından daha düşük sıcaklık hakim olacaktır. Fakat bu konforsuz iç ortam süresi çok kısa olacaktır. Projelendirmelerde bu uç sıcaklıklarda arzu edilen iç ortam sıcaklığının konfor sıcaklığının biraz altına düşmesini kabullenmek makuldür **(Demirbilek ve Yener, 1996).**

3.5.2 Dış Hava Sıcaklıkları Hesaplama Yöntemleri

Kış dış hava sıcaklığı için; en düşük sıcaklığın veya uzun yıllar minimum sıcaklık ortalamasının alınması, kaydedilen en düşük sıcaklığın 5 ila 8 ^{o}C artırılması, Ocak ayı ortalamasının 13,8-19,4 ^{o}C azaltılması, günlük ortalama sıcaklıkların muhtemel tekrarlarına dayanması, Ocak ayı veya en düşük ayın saatlerinin %1, %2.5, %5 ve %10'unda veya altında rastlanan dış sıcaklık değerlerinin kullanılması başvurulan yöntemlerdir **(Gülferi, 1966; Demirbilek, 1992; El-Shaarawi ve Al-Masri, 1996).**

Eski Amerikan yönteminde de; kış dış hesap sıcaklığı, her şehir ya da meteoroloji istasyonu için iki frekans seviyesinde belirlenmektedir. Temsil edilen sıcaklıklar; kuzey yarımkürede Aralık, Ocak, Şubat (2160 saat), güney yarımkürede Haziran, Temmuz, Ağustos aylarında toplam gün sayısının %99 veya %97,5'una eşit olmalı veya aşmalıdır. Normal bir kışta %99 değerinin altında veya eşit 22 saat, %97,5 değerinin altında veya eşit 45 saat vardır. Kanada şehirleri veya meteoroloji istasyonları için bu iki hesap sıcaklığı, Kanada'nın en soğuk ayı olan Ocak ayı referans alınarak hesaplanmaktadır. Genellikle dış hesap sıcaklığı saatlik

sıcaklıkların %97,5'ine denk olan değerdir. Eğer bina masif camları az, iç ısı yükü büyük ve sadece gündüzleri kullanılıyorsa belirli şartlar altındaki normal binalar için gerekli dış hava sıcaklıkları %2,5 risk ile seçilmektedir. Bilakis bina düşük ısı kapasiteli hafif yapı elemanları ile yapılmış ve yeterli yalıtılmamışsa ve orta büyüklükte cam yüzey alanı varsa, ısıl kütlesi düşük, ısı yükü az ve iç hesap sıcaklıkları yüksek hassasiyet gerektiriyorsa %1 risk değeri kullanılmaktadır **(Gülferi, 1966; Houghton, 1985; Demirbilek, 1992; El-Shaarawi ve Al-Masri, 1996; Kuehn ve diğ., 1998).**

Alman metoduna göre bir yerin dış hava sıcaklığı için 20 yıllık zaman dilimi içerisinde on kez düşülen veya altına inilen en düşük iki günlük ortalama hava sıcaklığı değeri esas alınmaktadır. Isı yükü hesaplamalarında bu sıcaklık, yapı türünün ağırlığına bağlı olarak belirlenen dış sıcaklık düzeltmesi ile 2 ^{o}C veya 4 ^{o}C artırılarak kullanılmaktadır **(DIN, 1982; VDI, 1983).**

Özellikle dış hesap sıcaklığı seçiminde belirli riskleri tasarımcıya yükleyen ve alınan bu risk yüzdesini gösteren Amerikan yöntemiyle, sıcaklık aralığı için daha katı sınırlar uygulayan Alman yöntemi kıyaslandığında; seçimde her ikisi de yapı ağırlığını göz önüne alırken, Alman yönteminde tanımlanmış bağıntılarla ve bunların sayısal sonuçlarıyla daha belirgin bir şekilde dış hesap sıcaklığının ve yapı ağırlığına göre düzeltme değerlerinin tanımlı olduğu, oysa Amerikan yönteminde yapılması gerekli kabullerin ucu açık sözlerle ifade edildiği, saatlik sıcaklıkları kullanan Amerikan yöntemine kıyasla Alman yönteminin; günlük sıcaklık ortalamalarından dış hesap sıcaklıklarını türettiği ve 12 yıllık gözlem süreli Amerikan yöntemine kıyasla, 20 yıl gibi 8 yıl daha uzun bir gözlem süresi ele aldığı görülecektir. Her ikisi de ısıtma süresi uzunluğunu dikkate almamaktadır **(Bayraktar ve diğ., 2003).**

Halen kullanılmakta olan TS 2164 "Kalorifer Tesisatı Projelendirme Kuralları" 1984 tarihinde yayınlanmış olup, Türkiye'deki çeşitli yerler için -27 ^{o}C ile 3 ^{o}C arasında taban sıcaklıkları belirlenmiştir **(TS 2164, 1984).** Burada verilen dış hava sıcaklık değerlerin gerek güncelliği gerekse de yapılaşmadan dolayı şehirlerde meydana gelen ısı adalarının etkileri yüzünden tekrar revize edilmesi gerekmektedir.

Bayraktar (2002) tarafından önerilen yeni dış hava sıcaklık hesaplama yönteminde ısıtma gün sayısının uzunluğu da dikkate alınmaktadır. 20 yıllık zaman dilimi içinde ısıtma süresini de dikkate almak kaydıyla en az yirmi kez düşülen veya altına inilen

en düşük iki günlük ortalama hava sıcaklığı değerini, o yerin dış hesap sıcaklığı olarak tariflenmesi esas alınmaktadır. Ülkenin en düşük ısıtma gün sayısına sahip yer için 20 yıllık zaman diliminde en az yirmi kez rastlanan veya başka bir deyişle yılda bir kez rastlanılan değer dış hava hesap sıcaklığı olarak kabul edilirken; bir başka yer için istenilen en düşük tekrar sayısı, ilgili yerin artan ısıtma süresi ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Öncelikle son 20 yıllık günlük sıcaklık ortalamaları serisinden, iki günlük ortalama sıcaklık serisi türetilmektedir **(Bayraktar ve diğ., 2003).** 15 ^{o}C taban sıcaklığında hesaplanan derece gün değerlerine göre Türkiye için bulunan en düşük ısıtma süresi 104.4 gün olup, İskenderun'a aittir **(Bayraktar, 2002).**

Ele alınan 20 yıllık süre içinde; ilk günden son güne kadar günlük sıcaklıklardan oluşan seriden yararlanılarak, verilen bağlantılarla (Denklem 3.10) ve (Denklem 3.11) birbirini takip eden iki günlük ortalama sıcaklık serisi elde edilir. Böylece rastlanmış uç sıcaklıklardan arındırılmış yeni bir sıcaklık serisi oluşur **(Bayraktar, 2002).**

$$t_{1ort} = \frac{t_1 + t_2}{2} \qquad \text{(Denklem 3.10)}$$

$$t_{2ort} = \frac{t_2 + t_3}{2} \qquad \text{(Denklem 3.11)}$$

t= Ortalama sıcaklık (^{o}C)

Fakat bu uygulamanın yerine ilk günün sıcaklık ortalamasının takip eden gün yerine önceki günle eşleştirilmesi, ısının depolanması açısından daha uygun olacaktır (Denklem 3.12, 3.13). **Bayraktar (2002)** tarafından önerilen yöntemle arasında dönemin ilk ve son gün ortalaması haricinde bir fark yoktur. Fakat ısı hesapları modellerinde takip eden günler yerine daha önceki günler kullanılmaktadır **(Pardo ve diğ., 2002; Şener ve diğ., 2005). Mirasgedis ve diğ. (2006)** elektrik tüketimi için oluşturdukları günlük modelde, o günden önceki iki günü hesaba katmışlardır.

$$t_{1ort} = \frac{t + t_1}{2} \qquad \text{(Denklem 3.12)}$$

$$t_{2ort} = \frac{t_1 + t_2}{2} \qquad \text{(Denklem 3.13)}$$

Bu elde edilen yeni serinin kümeli tekrar sayıları sıralamasında; ısıtma süresine bağlı olarak değişecek 20, 40 veya 60 defa ulaşılan veya altına inilen sıcaklık, o yer için dış hesap sıcaklığı olarak tanımlanmaktadır. En kısa ısıtma süresine sahip yer için 20

yılda 20 defa ulaşılan en düşük sıcaklık ortalamaları alınırken; farklı ısıtma süresine sahip olan başka yerler için tekrar sayısı, en düşük ısıtma süresi ile oranlanarak (Denklem 3.14) bulunur **(Bayraktar, 2002).**

$$TS_{yeni} = \left(\frac{x_{yeni}}{x_{\min}} \right) * TS_{\min} \qquad \text{(Denklem 3.14)}$$

TS_{yeni}=Yeni yerin toplanmış tekrar sayısı (gün/20 yıl)

TS_{min}= En düşük ısıtma yerinin toplanmış tekrar sayısı (20gün/20 yıl) veya (gün/yıl)

x_{yeni}= Yeni yerin ısıtma gün sayısı (gün)

x_{min}= En düşük ısıtma gün sayısı (gün)

Bayraktar (2002) tarafından Türkiye'deki 218 Meteoroloji istasyonunun 1 Haziran 1978 – 31 Mayıs 1998 tarihleri arasındaki dönemi kapsayan 7,305 gün için günlük ortalama hava sıcaklıklarından yararlanılarak; iki günlük ortalama sıcaklık ortalamaları serileri üretilmiştir. Aynı zamanda Amerikan, Alman ve yeni önerilen yöntemlere göre dış hesap sıcaklıkları hesaplanmıştır.

3.5.3 Afyon İçin Hesaplanan Dış Hava Sıcaklıkları

Bayraktar (2002) tarafından Afyon için 15 ^{o}C taban sıcaklığında derece-gün hesaplarına göre; bulunan ısıtma gün sayısı 225,7 gündür. Türkiye'de en düşük ısıtma gün süresi 104,4 gün olup İskenderun'a aittir **(Bayraktar, 2002).** Afyon için aranması gereken tekerrür sayısı ısıtma gün sayısının, en düşük ısıtma gün sayısına bölümünde ortaya çıkan 2 değeri olup; yılda 2 gün ve 20 yıllık sürede ise 40'tır. 20 yıllık iki günlük sıcaklık ortalamaları sıralandığı zaman en düşük 40. değer bize Afyon'un dış hesap sıcaklığını verir. Sıcaklıklar da sınıflandırılırken 0 ^{o}C; 0 ^{o}C ile 0,9 ^{o}C arasındaki tüm değerleri, -0 ^{o}C ise -0,1 ^{o}C ile -0,9 ^{o}C arasındaki tüm değerleri belirtir. Aynı şekilde -10 ^{o}C ise -10 ^{o}C ile -10,9 ^{o}C arasındaki tüm değerleri kapsamaktadır. Böylece 40. değer bize -8,4 ^{o}C yi verir. Bu değerin -8 ^{o}C aralığına ait olup,.-8 Afyon'un dış hesap sıcaklığıdır. -8 ^{o}C tekerrür eden gün sayısı ise 53'tür.

Alman yöntemine göre 1978–1998 dönemi için bulunan 10. en düşük değer -9,8 ^{o}C olup, -9 ^{o}C aralığına aittir. Binanın yük durumuna ve ısıl kapasitelerine bağlı olarak bu hesap sıcaklıkları sırasıyla 0, 2, veya 4 ^{o}C arttırılabilir. Aynı dönem için Amerikan yöntemine göre % 99,6, % 99 ve % 97,5 güven aralıklarında bulunan değerler sırasıyla -9 ^{o}C, -7 ^{o}C ve -5 ^{o}C'dir **(Bayraktar, 2002).**

Günümüzde karşılaştırılması ve bu değerlerin güncelleştirilmesi istenirse 1 Haziran 1985–31 Mayıs 2005 tarihleri arasında 7,305 günü göz önüne alırsak bulunan değerler Alman yöntemi haricinde **Bayraktar (2002)** ile aynıdır. Alman yöntemine göre bulunan değer -10 ^{o}C'dir. **TS 2164 (1984)** de belirtilen Afyon için dış hesap sıcaklığı -12R'dir. Burada -12, -12 ^{o}C'yi gösterirken; R ise rüzgarlı olduğunu gösterir.

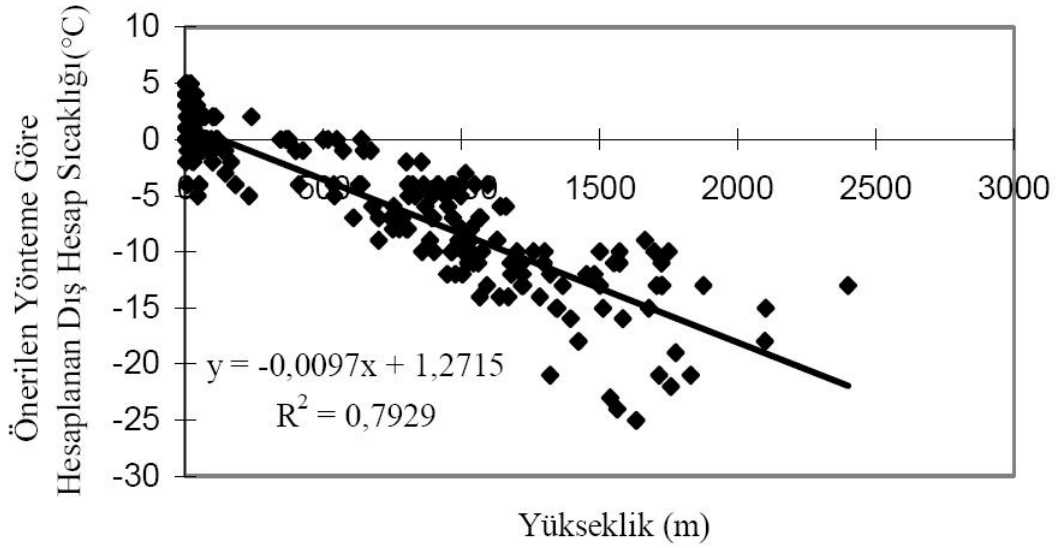
Bulunan yeni dış hesap sıcaklıkları ile özellikle deniz kıyısı bölgelerde yüksek ilgileşim bulunmuştur. Örneğin, Karadeniz Bölgesinde 0,95, Akdeniz Bölgesinde 0,93, iken Doğu Anadolu Bölgesinde 0.34'tür. Bu değer Türkiye geneli için 0,79 olarak bulunmuştur **(Bayraktar, 2003).** Türkiye geneli için yükseklikle değişim sonuçları Şekil 3.12 de verilmiştir. Verilen eğriden geçen doğrunun denklemi (Denklem 3.15) verilmiştir.

$$y = -0{,}0097\,x + 1{,}2715 \qquad \text{(Denklem 3.15)}$$

y = Dış hava sıcaklığı (^{o}C)

x = Yükseklik (m)

Afyon Meteoroloji istasyonun rakımı 1034 metredir. Denklem 3.15'e göre bulunan değer -8,75 ^{o}C olup, -8 ^{o}C aralığına aittir. Bulunan değer **Bayraktar,2002** tarafından hesaplanan değerlerle aynıdır.



Şekil 3.12 Türkiye genelinde dış hesap sıcaklıklarının yükseklikle değişimi **(Bayraktar ve diğ., 2003).**

3.6. İklim Verileri

Herhangi bir noktadaki meteorolojik parametrenin değişimi diğer bir yerdeki meteorolojik olayları etkilemektedir. Bu etkileşime uzak etkileşim denir. Üretilen uzak etkileşimlerin etki sahalarının değişik bölgelerine yağış azlığı ve fazlalığı veya sıcaklık artışı veya azalışı gibi etkileri bulunmaktadır. Örneğin, NAO (Kuzey Atlantik Salınımı) Kuzeybatı Avrupa ve Fas'ta yağış rejimlerini etkilerken, Avrupa'nın geniş bir kesiminde kış karakteristiklerini ortaya koyar. 1940 ile 1970 arasında NAO göstergesi azalan eğilim gösterirken, genellikle Avrupa'da kış sıcaklıkları normalin altındadır **(van Loon ve Williams, 1976; Hurrell, 1995).** NCP ise kış ayları ve geçiş aylarında pozitif fazlarda Anadolu'da, Ege'de ve Orta Doğu'da sıcaklık düşüşlerine sebep olurken, yine aynı bölgelerde negatif fazlarda sıcaklık artışlarına sebep olmaktadır **(Kutiel ve Benaroch, 2002; Kutiel ve Türkeş, 2005). Kutiel ve diğ., (2002)** tarafından Yunanistan, Türkiye ve İsrail'deki değişik istasyonların sıcaklıklarından faydalanarak, normal sıcaklıklardan sapmaların NCP, SO (Güney Salınımı) ve NAO göstergeleri ile karşılaştırılması yapılmış; sonuçta NCP çok daha iyi sonuçlar vermiştir. Bu yüzden NCP ile Türkiye'deki ve özellikle Afyon'daki sıcaklıkların karşılaştırılması önemlidir.

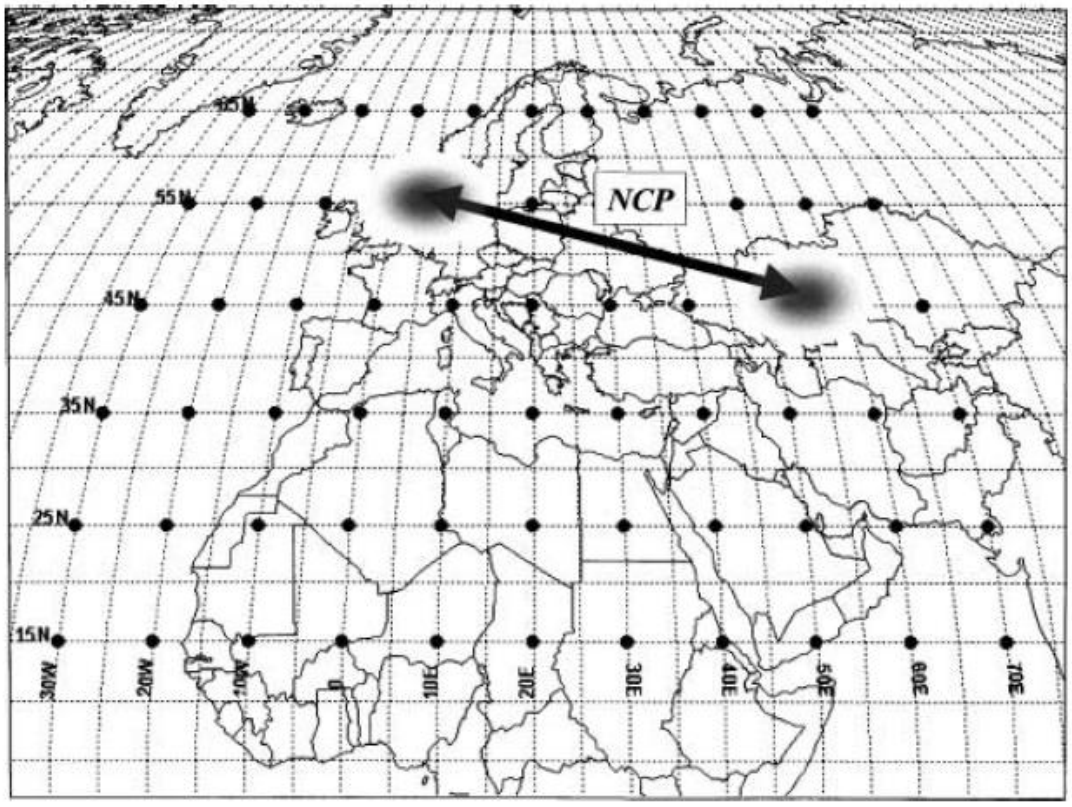
3.6.1. Kuzey Denizi – Hazar Örüntüsü

NCP, SO, NAO ve PDO (On yıllık Pasifik Salınımları) gibi bir atmosferik uzak etkileşimdir. NCP, kutuplarındaki aylık tabanda 500 hPa geopotansiyel yükseklik seviyelerinin değişimi olarak tanımlanmıştır **(Kutiel ve Benaroach, 2002)**. Bu örüntünün kutupları Kuzey Denizi ve Hazar Denizi'nin kuzeyidir **(Şekil 3.13).**

3.6.2. Kuzey Denizi – Hazar Örüntüsü Gösterge Değerlerinin Hesaplanması

NCP değerleri, Doğu Anglia Üniversitesi İklim Araştırmaları Birimi tarafından internet ortamında yayınlanmaktadır. NCP veri setinin uzunluğu 1948 ile 2005 yılları arasındadır.

NCP gösterge değerleri ise yayınlanan ham dataların işlenmesi ile üretilmektedir. **Kutiel ve Benaroach (2002)** tarafından önerilen standardizasyon yapılmaktadır (Denklem 3.16).



Şekil 3.13: Kuzey Denizi–Hazar Örüntüsü'nün kutupları **(Kutiel ve Benaroach, 2002)**

$$z_i = \frac{\left(NCPI_i - \overline{NCPI}\right)}{\sigma} \qquad \text{(Denklem 3.16)}$$

$NCPI_i$ = Aylık NCP gösterge değeri

$\overline{NCPI}$ = Uzun yıllar ortalama NCP gösterge değeri

σ = Aylık standart sapma

Eğer NCP gösterge değeri 0,500 değerinden büyük ise NCP pozitif safha; eğer -0,500 değerinden küçük ise negatif safha adını alır. Burada 0,500 ile -0,500 arasındaki değerlerde nötr safha denir. 1948–2005 yılları için bulunan aylık NCP değerleri Tablo 3.3 ve bu aylardaki safhalar Tablo 3.4 de verilmiştir.

NCP negatif olduğu safhada Hazar Denizi üzerindeki basınç Kuzey Denizi üzerindekinden büyüktür. Bu yüzden Hazar Denizi üzerinde yüksek basınç merkezi, Kuzey Denizi üzerinde ise alçak basınç merkezi oluşur (Şekil 3.14). Bu basınç merkezlerinin dönüşlerinden dolayı negatif safhada genelde güneyli hava kütlelerine açıktır. Pozitif safhada ise basınç merkezlerinin yerleri tam ters olduğundan kuzeyli hava kütlelerine açıktır (Şekil 3.15). İşte bu yüzden negatif safhada Anadolu

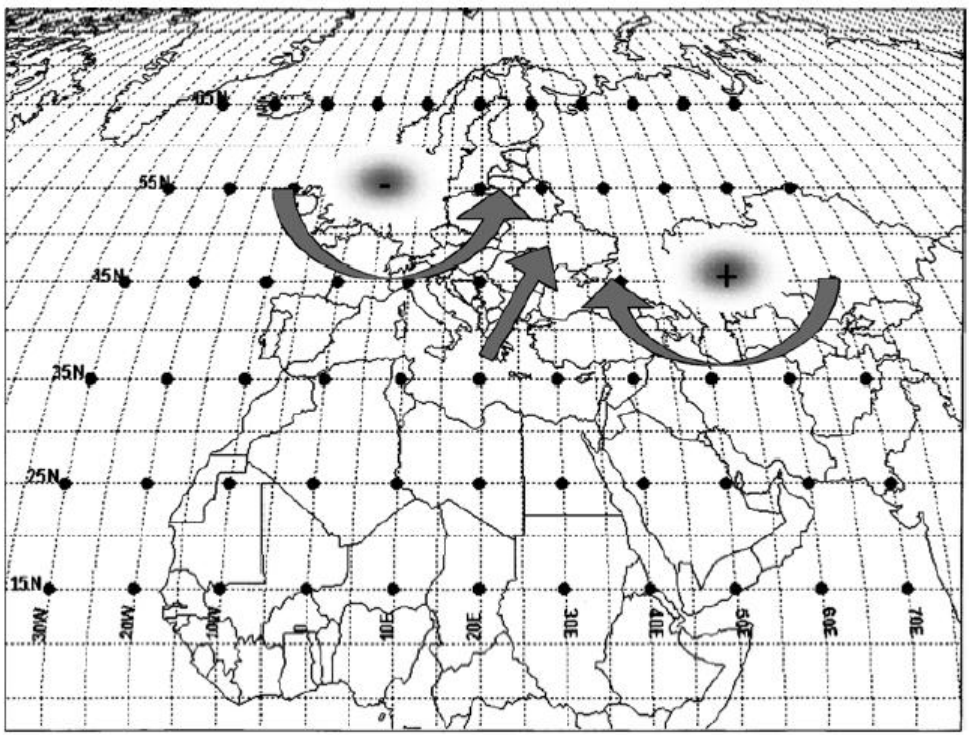
Tablo 3.3: Normalize edilmiş NCP değerleri

Yıl	Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Kas	Ara
1948	-1.670	0.298	2.672	0.825	-0.436	-1.756	-0.525	-1.313	0.429	0.010	1.388	1.786
1949	0.070	1.757	0.209	1.121	-0.623	-0.920	-0.020	0.465	1.635	0.410	-1.085	-0.499
1950	2.050	-0.477	0.757	-2.396	0.519	0.764	-0.134	-0.052	-1.849	0.030	-1.025	-1.706
1951	-0.390	-1.152	-1.915	-1.366	-0.249	-0.403	-0.010	-1.282	0.214	1.842	-0.814	-0.149
1952	-1.120	-0.338	0.309	0.509	0.063	-0.496	-0.412	-1.592	-2.534	-1.991	-1.266	-0.958
1953	0.460	0.059	2.393	-0.622	0.592	0.165	-1.482	-1.013	-0.082	1.121	1.890	1.397
1954	0.490	-0.010	-0.619	0.571	-0.166	-0.806	-1.966	-1.127	-1.992	-0.660	-0.824	-0.898
1955	-1.020	-1.777	-0.180	0.703	-2.388	-0.837	1.977	1.520	0.061	-1.091	1.116	-0.269
1956	-0.830	0.099	0.688	-0.806	1.610	-0.558	-0.319	-2.823	1.226	0.060	0.995	0.549
1957	0.950	-1.291	0.837	0.255	-1.214	-0.041	0.453	-0.631	-1.941	0.230	1.448	0.170
1958	-0.880	-0.913	-0.668	0.530	-0.903	-0.424	0.134	-0.248	1.522	0.481	1.609	-0.698
1959	-1.370	3.028	1.007	-0.459	0.654	1.095	1.184	2.027	2.115	1.021	0.443	-1.067
1960	-0.450	-0.973	0.997	0.438	1.558	0.702	-0.916	-0.631	0.255	-1.181	-1.367	-1.367
1961	-0.490	0.526	1.436	0.367	-1.256	0.144	-0.185	-0.341	1.849	-0.110	0.553	-0.189
1962	-0.390	0.159	-1.925	0.091	-0.986	0.475	-1.204	-1.137	-0.685	1.301	-0.331	-0.169
1963	-0.350	-1.162	0.488	0.010	0.416	0.372	0.608	-0.755	0.030	0.230	-0.522	1.008
1964	2.420	0.129	0.030	1.121	0.530	0.506	0.525	0.641	0.276	-0.060	1.176	-0.868
1965	-0.820	0.854	-0.329	0.632	-0.778	0.010	-1.493	-1.086	-0.378	1.812	-0.864	-1.906
1966	-0.780	-1.072	-0.160	-0.204	0.239	0.640	-0.659	-0.279	0.521	-0.680	-1.859	-1.018
1967	-0.080	0.546	-0.090	0.397	-1.349	1.043	1.184	-0.372	0.153	-1.081	0.292	0.010
1968	0.200	-0.626	-0.090	0.051	-1.692	0.950	0.319	0.403	-0.644	0.190	0.423	-0.010
1969	0.570	-0.755	0.020	-0.225	-0.259	-0.124	2.193	0.062	1.522	2.122	-1.789	-0.130
1970	-0.480	-1.638	-1.715	-2.131	0.686	1.890	-0.659	1.003	0.368	0.220	-0.472	1.008
1971	-0.990	1.072	-0.828	0.795	0.385	-0.455	0.649	0.476	0.174	1.271	-0.392	1.926
1972	1.040	-0.179	0.678	-0.755	-0.695	-1.054	1.019	0.352	0.092	0.631	-0.321	1.337
1973	1.690	-0.467	1.366	-0.602	0.042	1.312	0.247	0.755	0.960	0.040	-0.110	-0.439
1974	0.840	-0.536	-0.319	2.069	-0.571	-0.331	-0.865	0.776	-1.379	-2.212	-1.045	-0.020
1975	-0.110	1.985	-0.349	-1.519	-0.342	0.031	0.072	1.634	-0.317	1.141	0.603	1.038
1976	-0.040	1.429	0.159	0.571	-0.197	1.446	1.328	0.248	0.010	0.320	-0.412	-1.496
1977	-0.020	-1.479	-0.499	-1.835	-0.238	-0.331	0.021	0.341	0.255	1.091	-1.367	1.188
1978	-0.430	-1.033	-1.307	0.662	1.257	0.113	-1.101	-0.269	-1.032	0.961	1.810	-0.010
1979	-1.390	-0.228	-1.795	-0.388	-1.515	0.961	-0.937	-1.530	-0.388	0.350	-1.327	-0.309
1980	0.290	0.605	-0.549	0.724	-0.238	-1.126	-1.441	0.227	0.868	-0.360	-0.080	-0.658
1981	-0.260	0.337	-0.599	1.590	0.312	0.330	-0.391	1.096	-0.368	-2.322	0.352	-2.135
1982	0.490	1.320	0.139	-0.031	-0.789	0.041	1.256	-0.331	0.807	0.040	0.030	-0.658
1983	0.690	0.040	0.050	-1.265	-1.557	0.971	1.390	1.892	-0.092	-0.090	0.945	0.160
1984	-1.700	0.327	-0.299	1.243	-0.477	-0.496	-0.844	1.075	-1.778	-0.240	0.272	0.918
1985	-0.870	1.191	-0.280	-0.694	-0.166	-1.715	0.175	-1.075	0.194	1.962	-1.337	0.090
1986	-1.360	-0.387	-0.200	-2.101	0.416	1.332	-0.566	-1.427	-0.623	0.030	0.664	0.250
1987	0.070	-0.358	-0.240	1.804	-1.100	-2.603	0.052	-0.662	0.092	-0.330	0.262	0.878
1988	-0.510	-1.201	-1.167	-0.062	1.070	0.599	-1.163	-0.434	-0.072	-0.180	0.925	1.098
1989	2.300	0.179	-0.728	-0.816	1.765	-0.103	0.247	-0.476	1.134	-0.030	0.674	0.429
1990	0.550	-0.715	0.937	0.489	1.153	-0.661	0.463	1.179	-0.991	0.080	-0.311	0.389
1991	0.900	-0.209	0.309	-0.347	1.309	-2.593	0.989	0.962	0.429	-0.550	-0.382	2.006
1992	2.390	1.261	0.069	0.051	2.295	1.963	0.494	-0.134	0.071	-1.171	-0.532	0.958
1993	0.650	1.787	1.146	0.724	1.111	0.547	-1.266	-0.196	-0.593	-0.270	1.488	-1.447
1994	-0.960	0.645	-0.778	-0.530	-0.010	0.444	2.471	0.031	-1.666	-0.810	1.357	0.679
1995	-0.900	-1.271	-1.676	-0.102	-0.612	0.175	1.215	1.572	-0.961	1.161	0.493	0.639
1996	0.430	-0.715	0.438	0.948	-1.246	0.516	-0.896	0.155	0.807	0.020	-1.588	-0.229
1997	1.710	-0.020	1.465	0.622	-0.197	-1.023	0.350	1.158	1.369	-0.600	-0.211	0.200
1998	0.710	1.469	0.738	-1.642	0.706	-2.004	-1.565	-0.310	-0.429	-1.611	-0.452	-0.379
1999	-0.860	-0.536	-0.399	0.214	1.194	0.031	1.318	-1.189	0.541	-0.200	1.579	-2.175
2000	0.650	-0.219	0.478	-0.714	1.194	0.351	-1.369	-0.372	0.245	-0.390	-1.377	-0.569
2001	-0.490	0.040	-1.845	-1.193	1.174	-0.692	0.113	0.476	-0.879	0.911	0.684	0.270
2002	0.670	-0.864	-0.060	1.386	1.298	0.310	-0.463	1.520	0.163	-1.311	-0.784	1.497
2003	-0.480	1.092	1.685	0.958	-0.052	1.611	0.515	0.889	0.695	-1.201	0.593	0.200
2004	-0.940	0.288	-0.180	0.673	-0.103	-0.837	-0.062	-0.279	-0.184	-1.051	0.563	0.778
2005	0.170	0.079	0.289	-0.337	-1.142	0.547	-0.051	0.434	0.776	0.691	-0.382	-0.429

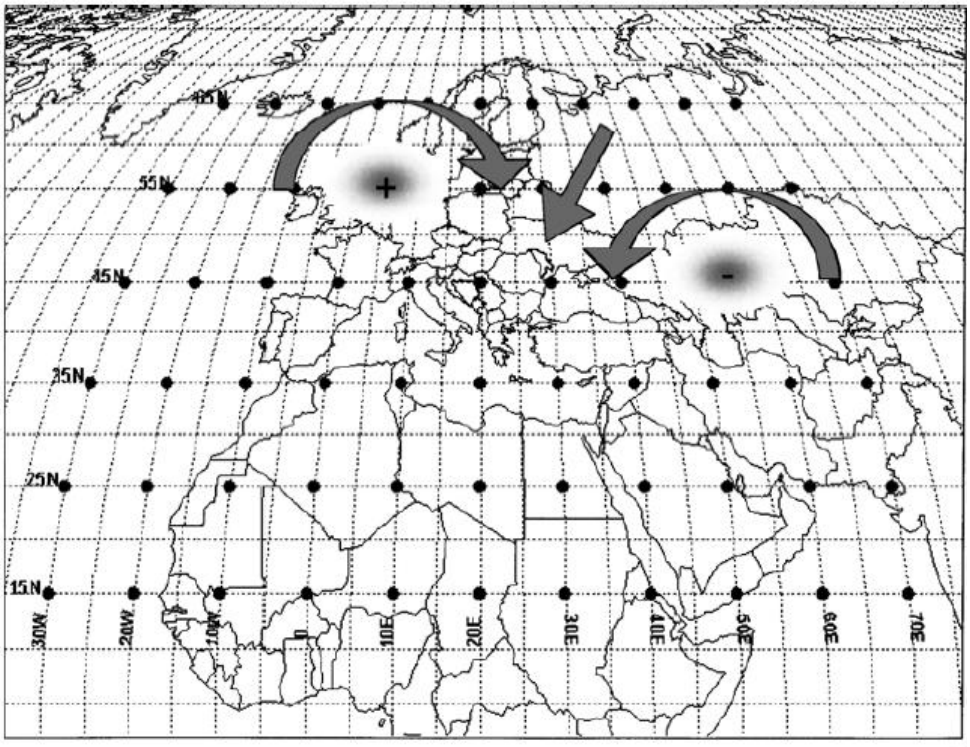
Tablo 3.4: Normalize edilmiş NCP değerlerine göre NCP fazları

Yıl	Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Kas	Ara
1948	N		P	P		N	N	N			P	P
1949		P		P	N	N			P		N	
1950	P		P	N	P	P			N		N	N
1951		N	N	N				N		P	N	
1952	N			P				N	N	N	N	N
1953			P	N	P		N	N		P	P	P
1954			N	P		N	N	N	N	N	N	N
1955	N	N		P	N	N	P	P		N	P	
1956	N		P	N	P	N		N	P		P	P
1957	P	N	P		N			N	N		P	
1958	N	N	N	P	N				P		P	N
1959	N	P	P		P	P	P	P	P	P		N
1960		N	P		P	P	N	N		N	N	N
1961		P	P		N				P		P	
1962			N		N		N	N	N	P		
1963		N					P	N			N	P
1964	P			P	P	P	P	P			P	N
1965	N	P		P	N		N	N		P	N	N
1966	N	N				P	N		P	N	N	N
1967		P			N	P	P			N		
1968		N			N	P			N			
1969	P	N					P		P	P	N	
1970		N	N	N	P	P	N	P				P
1971	N	P	N	P			P			P		P
1972	P		P	N	N	N	P			P		P
1973	P		P	N		P		P	P			
1974	P	N		P	N		N	P	N	N	N	
1975		P		N				P		P	P	P
1976		P		P		P	P					N
1977		N		N						P	N	P
1978		N	N	P	P		N		N	P	P	
1979	N		N		N	P	N	N			N	
1980		P	N	P		N	N		P			N
1981			N	P				P		N		N
1982		P			N		P		P			N
1983	P			N	N	P	P	P			P	
1984	N			P			N	P	N			P
1985	N	P		N		N		N		P	N	
1986	N			N		P	N	N	N		P	
1987				P	N	N		N				P
1988	N	N	N		P	P	N				P	P
1989	P		N	N	P				P		P	
1990	P	N	P		P	N		P	N			
1991	P				P	N	P	P		N		P
1992	P	P			P	P				N	N	P
1993	P	P	P	P	P	P	N		N		P	N
1994	N	P	N	N			P		N	N	P	P
1995	N	N	N		N		P	P	N	P		P
1996		N		P	N	P	N		P		N	
1997	P		P	P		N		P	P	N		
1998	P	P	P	N	P	N	N			N		
1999	N	N			P		P	N	P		P	N
2000	P			N	P		N				N	N
2001			N	N	P	N			N	P	P	
2002	P	N		P	P			P		N	N	P
2003		P	P	P		P	P	P	P	N	P	
2004	N			P		N				N	P	P
2005					N	P			P	P		

Yarımadası, Yunanistan ve Ortadoğu daha sıcaktır. Pozitif safhada ise tam tersine daha soğuktur **(Kutiel ve Benaroach, 2002).**



Şekil 3.14. NCP negatif safha **(Kutiel ve Benaroach, 2002)**



Şekil 3.15. NCP pozitif safha **(Kutiel ve Benaroach, 2002)**

4. AFJET

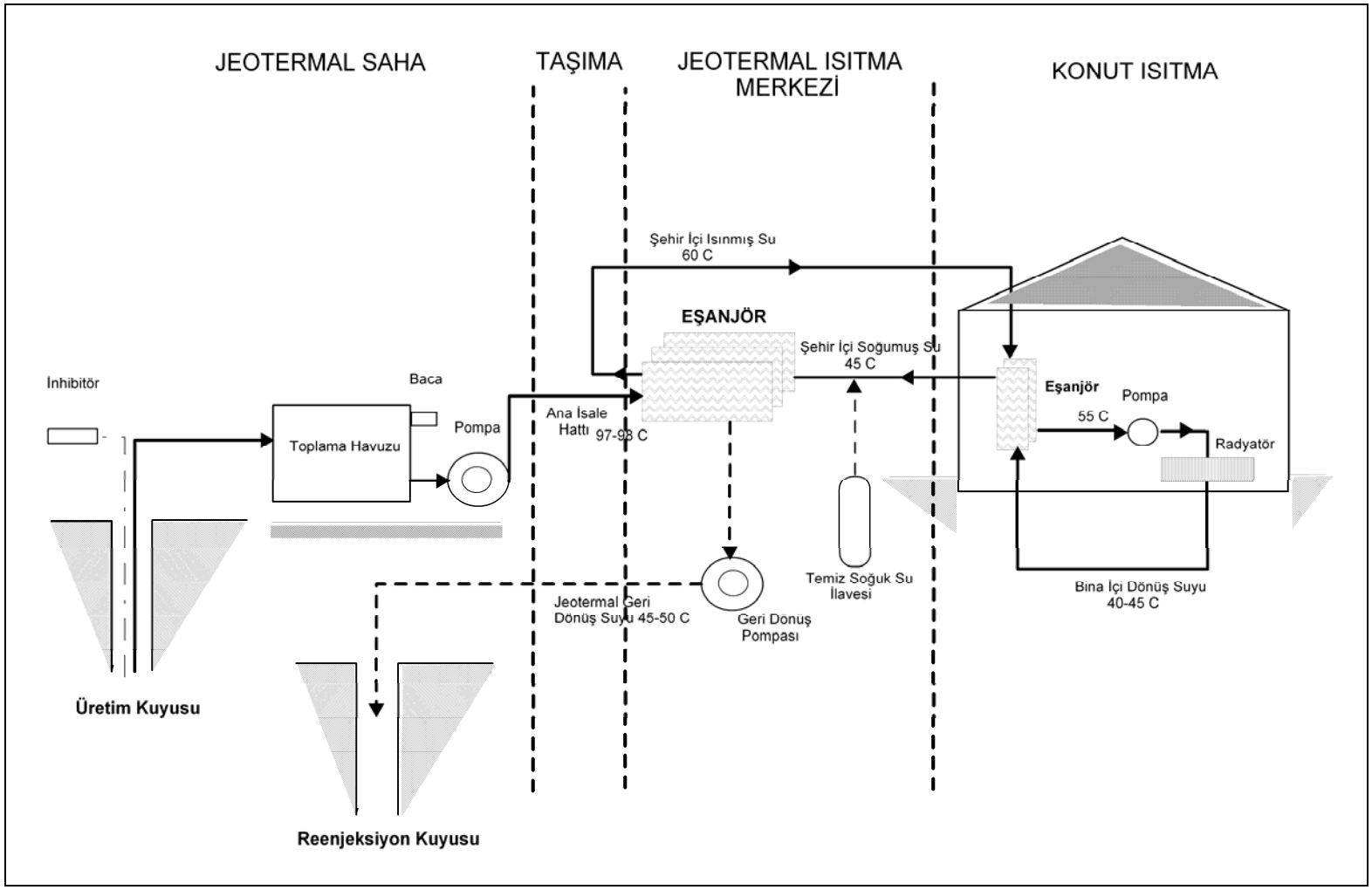
4.1. Kuruluşu

Kısa adı AFJET olan Afyon Jeotermal Tesisleri Turizm Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi; jeotermal su kaynaklarıyla bina ısıtma sistemleri kurmak, dönüş suları ile seralara su temin etmek amacıyla 14.02.1994 tarihinde kurulmuştur. 300 milyar TL ile kurulan bu anonim şirketin ortakları; Afyon İl Özel İdare Müdürlüğü (%59,42), Afyon Belediyesi (%26,66), Afyon Ticaret ve Sanayi Odası (%6,03) ve diğer küçük ortaklıklar (%7,89)'dır. Bu sermayeye ilaveten 1996–1997 yıllarında abonelerden toplanan 158 milyar TL ile birlikte merkezi ısıtma sisteminin ilk yatırım maliyeti toplam 458 milyar TL'dir. Proje hedefi 10000 konutun ısıtılması olan ve 1996 yılında işletmeye alınan AFJET sistemi ile halen 4519 konut ısıtılmakta olup, ısıtılan alan miktarı 513.683 m^2'dir **(Sabah ve Çelik, 1999; Özşakacı, 2006).**

4.2. Çalışma Sistemi

AFJET çalışma sistemi jeotermal saha yani üretim aşaması, taşıma, jeotermal ısıtma merkezi ve konut ısıtma olarak dört bölüme ayrılabilir. Genel akış şeması Şekil 4.1. de verilmiştir.

Merkezi ısıtma sistemi için gerekli olan jeotermal kaynaklar, Ömer-Gecek bölgesinde yer almaktadır. Burada AFJET'e ait, 7 adet üretim kuyusu, 3 adet reenjeksiyon kuyusu, 2 adet gözlem kuyusu ve 1 adet üretim yapılmayan atıl durumdaki kuyularla toplam 13 adet kuyu mevcuttur. Buradaki 7 adet kuyudan üretim için faydalanılmaktadır. Halen faal olan 7 adet kuyu birlikte çalıştırıldığı zaman toplam azami debi 290 lt/sn civarındadır. Üretimi yapılan jeotermal suların içerdiği minerallerin, özellikle kalsitin boru içlerinde kabuklaşmaya neden olmaması için kuyuların içine inhibitör atılmaktadır (Şekil 4.2). Kuyuların yaklaşık olarak 100 m içine ton başına 12 gram P3 Ferrofos 8402 atılmaktadır. İnhibitör kullanımı ile sertlik, kabuklaşma ve korozyon önlenmiştir. Kuyulardan üretilen jeotermal sular 600 m^3 kapasiteli toplama havuzuna alınmaktadır. Havuzdaki suların



Şekil 4.1: AFJET genel akış şeması

sıcaklığı yaklaşık olarak 100 ^{o}C'dir. Burada jeotermal sudan CO_2 ve diğer gazlar havuzun yukarısındaki iki adet baca yoluyla ayrıştıktan sonra, jeotermal su ana isale hattı ile Afyon şehir merkezindeki ısıtma tesisine pompalanmaktadır (Şekil 4.3).



Şekil 4.2: AF-21 Üretim kuyusu ve inhibitör ilavesi

Taşıma havuzunun pompadan yaklaşık olarak 6 m daha yüksekte bulunması sebebiyle, kot farkından dolayı havuzdan kendiliğinden gelen jeotermal su pompa ile ana isale hattı ile şehre pompalanmaktadır. 315 kW'lık pompa ile şehre azami 220 lt/sn civarında jeotermal su verilmektedir (Şekil 4.4). Arıza durumlarına kullanılmak üzere pompanın bir benzeri yedek durumda bekletilmektedir. Ana isale hattı 14650 m uzunluğunda ve çapı 450 mm olan epoksi kaplı izoleli geliş hattı ile izolesiz aynı çapta reenjeksiyon hattından oluşmaktadır. Ana isale hattı Afyon ovasını kat etmektedir. Üretim merkezi şehir merkezinden 18 m daha yüksektedir. Bu kot farkından dolayı üretim merkezindeki pompa rahat çalışabilmektedir. Özellikle Mayıs gibi düşük debiye ihtiyaç olduğu aylar bu kot farkından yararlanarak pompa kullanmadan, jeotermal su şehir merkezine iletilmektedir. İsale hattı üzerinde oksidasyonu engellemek amacıyla katodik koruma yapılmıştır **(Özşakacı, 2006).**



Şekil 4.3: Toplama havuzu ve bacaları



Şekil 4.4: Toplama havuzundan gelen suyu pompalayan pompa

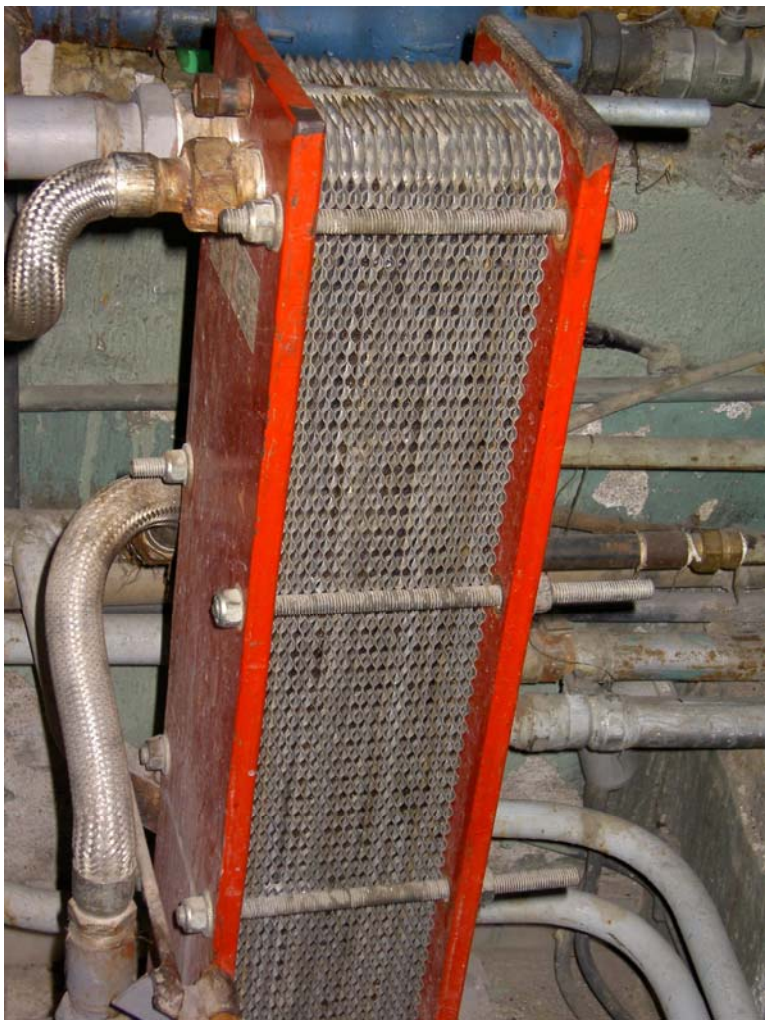
Havuzdan 100 ^{o}C civarında çıkan sular, ısıtma merkezine 97–98 ^{o}C civarında gelmektedir. Şehir merkezinde bulunan merkezi ısıtma binasında 16.000.000 kCal/saat kapasiteli 6 adet plakalı ısı eşanjörü (ısı değiştiricisi) bulunmaktadır (Şekil 4.5). Bu eşanjörler titanyum alaşımlıdır. 5 adet denge tankı, Pick-Power sistemi ve su tasfiye-ısıtma tesisi yer almaktadır. Denge tankları şehir hatlarındaki küçük basınç farklarında, sisteme su vererek basıncı dengelemek için kullanılmaktadır. Isıtma merkezinden çıkan soğumuş jeotermal dönüş suyu, merkezi ısıtma sisteminden çıkan ana isale hattı ile reenjeksiyon kuyularına üretim sahalarındaki pompaların aynısıyla geri verilmektedir. Geri dönüş suyunun sıcaklığı 45–50 ^{o}C'dir. Eşanjörün diğer tarafında şehir içi dolaşım suyu bulunmaktadır. Eşanjöre gelen 45 ^{o}C olarak giren su, eşanjörden 60 ^{o}C ısınmış su olarak çıkmaktadır. Şehir içi dolaşım suyunda kaçaklardan dolayı olabilecek kayıplar için su takviyesi yapılmaktadır.



Şekil 4.5: Isıtma merkezindeki eşanjörler

Ocak-1999'dan itibaren, merkezi ısıtma sisteminin gerek uzun ömürlü olmasını gerekse de sistemin eşit ısı yükü dağıtmasını sağlamak amacıyla düzenli bir dolaşım sağlanmasına yönelik bina altı eşanjör sistemine geçilmiştir (Şekil 4.6). Bina altındaki eşanjöre gelen 60 ^{o}C sıcak su, eşanjörden 45 ^{o}C'ye soğumuş olarak çıkar. Bina altındaki diğer eşanjörün diğer tarafında ise bina içi dolaşım suyu

bulunmaktadır. Bina içinden 40-45 ^{o}C'ye soğumuş olarak gelen su eşanjörden 55 ^{o}C'ye ısınmış olarak çıkar. Bina içinde dolaşımı sağlamak için pompa mevcuttur.



Şekil 4.6: Bina altı eşanjörleri

4.3. Kuyular

MTA tarafından Ömer-Gecek jeotermal sahasında Afyon Jeotermal Enerji Projesi kapsamında 1971 ile 1997 yılları arasında 25 tane kuyu açmıştır. Bazı kuyularda üretim çeşitli nedenlerden dolayı durmuştur. En derin kuyu 905 m derinliği olan AF-1 kuyusudur. Ömer-Gecek çalışma alanında kullanılan jeotermal kuyular Tablo 4.1. de verilmiştir. Daha önceki kaynaklara göre verilen debi değerleri kuyu bitirme raporlarına dayandığı için, halihazırdaki debi değerleri ile arasında farklılıklar gözlenmektedir. Tablo 4.1**.** de verilen halihazır debi değerleri bütün kuyular aynı anda kullanıldığı zaman alınan değerlerdir. Kuyu raporlarında ölçülen debi değerleri kuyuların çalıştırılmadığı ve tek tek işletildiği zamanlarda alındığı için, kuyular arası

Tablo 4.1: Afyon Ömer-Gecek Bölgesindeki halihazır jeotermal kuyular **(Erişen ve diğ., 1996; Tamgaç ve diğ., 2000; Özşakacı, 2006)**

Kuyu No	Yıl	Derinlik	Sıcaklık (ºC)	Debi lt/sn	Halihazır Debi lt/sn	Rezervuar Kaya	Durumu
R-260	1971	166	92	20	25	Mermer-Şist	Üretim yapılıyor AFJET
AF-1	1974	905	98	20		Kuvars-Mika Şist	Gözlem kuyusu
AF-4	1982	125.7	95	80		Mermer-Şist	Reenjeksiyon kuyusu
AF-7	1983	210	100	5-6		Mermer-Şist-Konglomera	Ömer Kaplıcası (Atıl)
AF-8	1984	250	91	5-10		Mermer-Mika Şist	Atıl (Özel İdare)
AF-9	1990	320	51	66		Bazalt-Kumtaşı	Oruçoğlu
AF-10	1990	318	98	100		Mermer-Şist	Özel Sektör Turunç (Atıl)
AF-11	1995	184.3	98	150	47	Mermer-Şist	Üretim yapılıyor AFJET
AF-13	1996	560.2	81	4,7		Kuvars-Mika Şist	Reenjeksiyon kuyusu
AF-14	1996	122.2	96	>100		Mermer-Şist	Gecek kaplıcası
AF-15	1996	170.7	97	4,5		Mermer-Şist	Atıl AFJET
AF-16	1996	218	96	>100	40	Mermer-Şist	Üretim yapılıyor AFJET
AF-17	1996	260.5	99	80	30	Mermer-Şist	Üretim yapılıyor AFJET
AF-18	1997	363.6	98	40-60	43	Mermer-Şist	Üretim yapılıyor AFJET
AF-19	1997	305.3	****	****		Mermer-Şist	Gözlem kuyusu
AF-20	1997	230.3	90	100	44	Mermer-Şist	Üretim yapılıyor AFJET
AF-21	1997	212	91	45	60	Mermer-Şist	Üretim yapılıyor AFJET
AF-22	1997	227	95	50-70		Mermer-Şist	Reenjeksiyon kuyusu
AF-23	1997	235.3	90	50		Mermer-Şist	Ömer Kaplıcası

etkileşim olayı söz konusu değildir. Halbuki kuyular aynı anda işletildiği zamanlarda özellikle kış mevsiminde kuyular arası etkileşim fazla olacağı için debi zamanla düşmektedir. AFJET tarafından öncelikle işletilen kuyular AF-21, AF-16, AF-18 ve AF-11 kuyularıdır. Bu kuyuların toplam debisi 170 lt/sn civarındadır. Bu miktar ısıtma süresinin büyük bir dönemi için yeterlidir. Daha soğuk dönemlerde işletmeye alınan R-260, AF-17 ve AF-20 kuyularının debisi işletildiği süre içinde zamanla düşmektedir. Ayrıca R-260 kuyusunun kullanımı AF-21 kuyusundan üretilen termal su miktarını etkilemektedir **(Özşakacı, 2006).**

AF-1 ve AF-19 kuyuları su seviyesini ölçmek için sürekli kullanılan gözlem kuyularıdır. Atıl durumdaki AF-8 ve yazın kullanılmayan diğer kuyulardan su seviyesini ölçmek için aralıklarla yararlanılmaktadır. Su seviyesi ölçümleri limnigraf ile yapılmaktadır (Şekil 4.7).



Şekil 4.7: R-260 kuyusunda limnigraf ile su seviyesi ölçümü

4.4. Reenjeksiyon

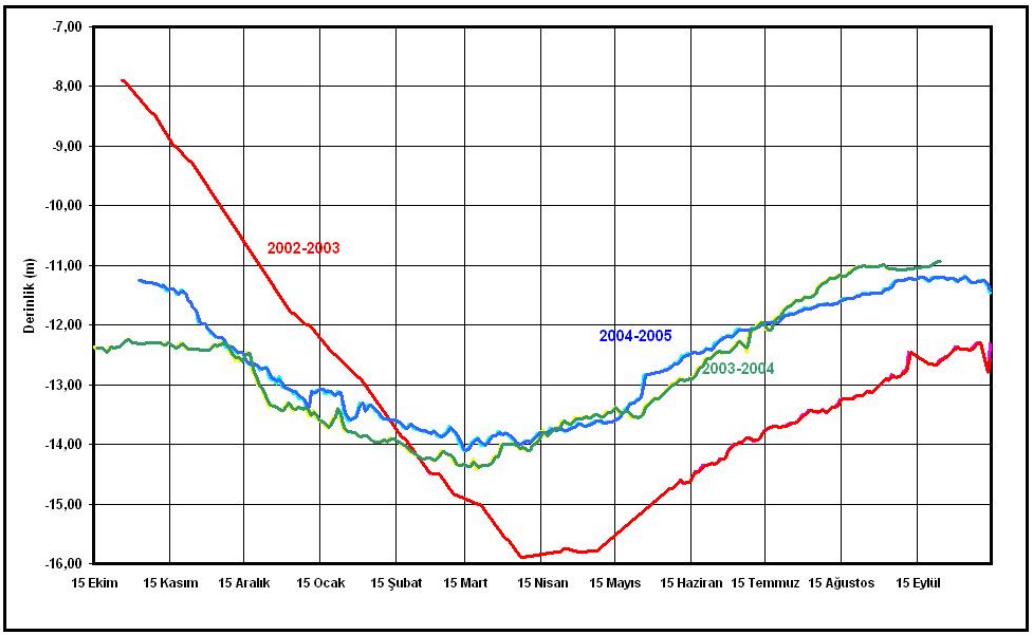
Reenjeksiyon rezervuar basıncını koruduğundan dolayı jeotermal sahalardan üretimi arttırmak için en iyi yöntem olması ile beraber, termal suların taşıdığı kimyasal maddelerden doğaya zarar vermeden kurtulmak için de iyi bir yöntemdir. AFJET'in

kullandığı jeotermal suyun geri dönüş sıcaklığı 45 ^{o}C olup, bu su reenjeksiyon olayı yapılmaya başlanmadan önce Akarçay nehrine bırakılmaktaydı. Özellikle reenjeksiyon için açılmış olan R-240 kuyusunun kullanılamamasından sonra, üretimi düşük olan diğer kuyuların reenjeksiyon için ne kadar uygun olduklarına dair testler yapıldı. AF-1, R-260, AF-3, AF-4 ve AF-22 kuyularının reenjeksiyona uygunlukları test edildi. AF-4 ve AF-22 kuyuları reenjeksiyon için en iyi kuyular olduğuna karar verildi **(Durak ve Küçük, 2000).**

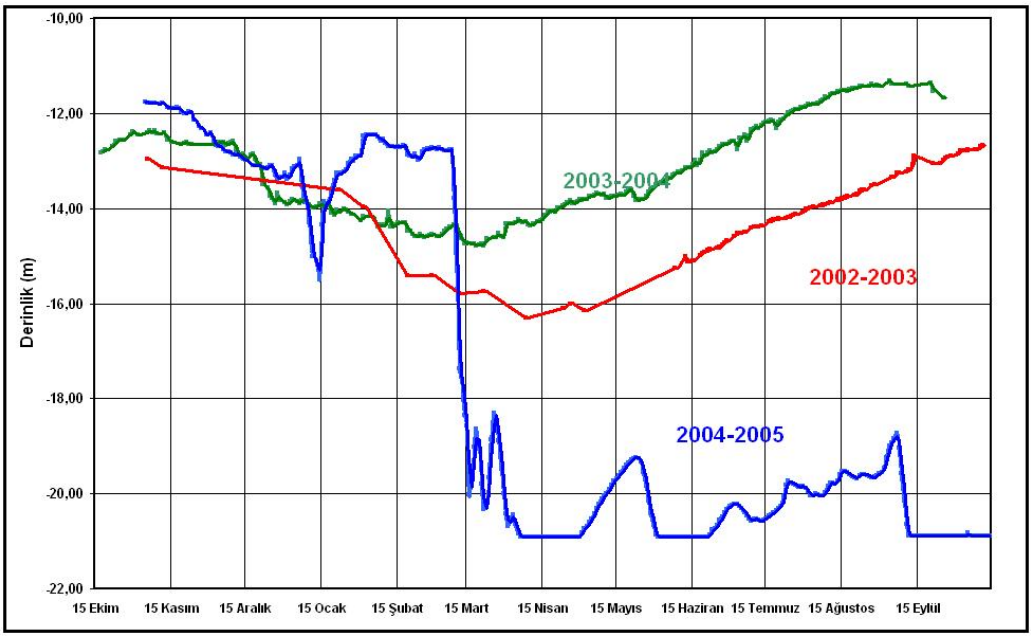
Reenjeksiyon uygulamasına geçilmeden önce kullanılan jeotermal su Akarçay Nehrine boşaltılmaktaydı. Bu durum yüzey sularında değişikliğe neden olmaktaydı. **Tezcan ve diğ., (2002)** Akarçay havzasında yaptığı çalışmaya göre, kullanımdan dönen jeotermal suların Akarçay havzasında yüzey sularında meydana getirdiği kirletici etkiye vurgu yapmışlardır. Bu çalışmaya göre, özellikle Br^{-}, F^{-} ve As iyonlarının termal suların Akarçay'a bırakıldıkları noktaya kadar çok büyük değerler almadığı, termal atıkların eklenmesinden sonra akım yolu boyunca yüksek konsantrasyonda bulunduğu saptanmıştır. Akarçay Nehrinin kapalı olan Eber Gölüne akmasından dolayı, bu iyonlar yüzünden Eber Gölünde uzun dönem sonrası kirlenmeye neden olacağını belirtmişlerdir.

Günümüzde ise 2002 yılından beri reenjeksiyon tam kapasiteyle yapılmaktadır. Reenjeksiyon için kullanılan kuyular AF-13, AF-4, AF-22 kuyularıdır. Isıtma merkezinden dönen 45–50 ^{o}C arasındaki su, önce AF-13 kuyusuna daha sonra AF-4 kuyusuna, eğer artan su varsa AF-22 kuyusuna verilmektedir. AF-13 kuyusunun su alma kapasitesi 25 ton/saat, AF-4 kuyusunun su alma kapasitesi ise 380-400 ton/saat arasındadır. Reenjeksiyon ile tekrar kazanabilecek su miktarı saatte azami 450 ton civarındadır.

AF-1 kuyusundaki seviye ölçümleri Şekil 4.8 de verilmiştir. Su seviyesinde reenjeksiyona başladıktan sonra yükselme gözlenmiştir. Benzer etki AF-19 kuyusunda da gözlenmiştir (Şekil 4.9). Ayrıca 2005 yılı Mart ayının ilk yarısında AF-19 kuyusuna yakın yerde Oruçoğlu A.Ş. tarafından açılan kuyunun etkisi hemen görülmektedir.



Şekil 4.8: AF-1 Gözlem kuyusundan elde edilen su seviyesi ölçümleri



Şekil 4.9: AF-19 Gözlem kuyusundan elde edilen su seviyesi ölçümleri

4.5. Tüketim bedelleri

Jeotermal enerji ile ısınan konutlar ayda m^2 başına 0,688 YTL (KDV dahil), ödemektedirler. Yaklaşık olarak 100 m^2 konutun ısıtılması için yılda 850–900 YTL gerekmektedir (pompa için gerekli olan elektrik tüketimi dahil). Bina altlarındaki eşanjörlerin temizliği ve bakımı AFJET'e aittir.

5. AFJET ISI İHTİYACININ BELİRLENMESİ VE ISITMA SİSTEMİNİN MODELLENMESİ

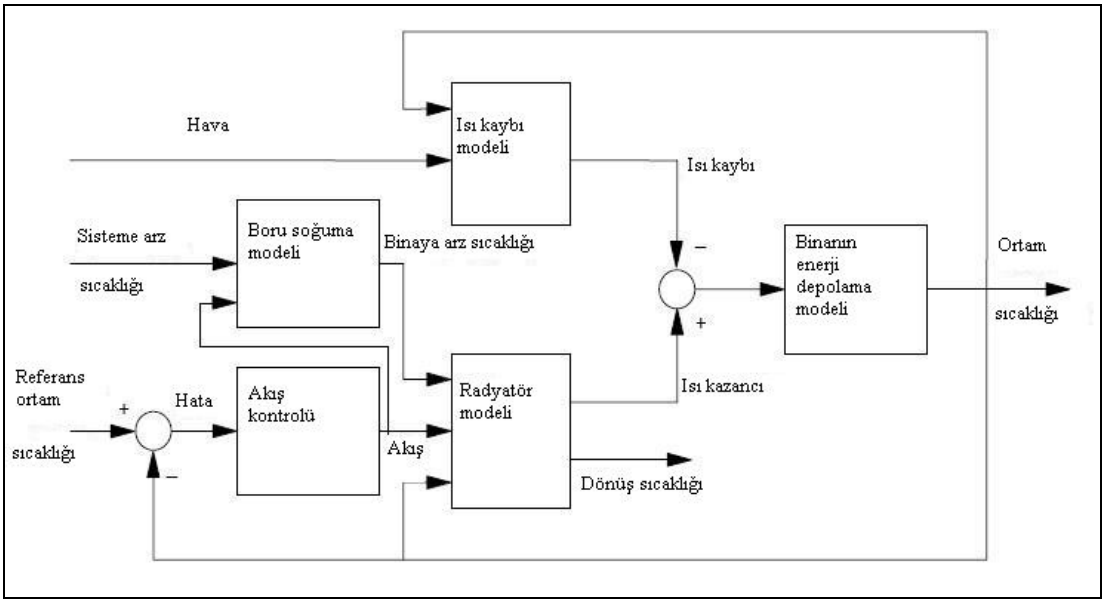
5.1 Önceki Çalışmalar

Çelik ve Sabah (2002) AFJET'in kuruluşu ile çalışma şekli anlatılmış, jeotermal ile ısınan konutların ısıtılması için gerekli olan ısı miktarı hesaplanmıştır. Ayrıca jeotermal enerjinin ısıtmadaki ekonomikliği ve çevreye olan katkıları diğer ısıtma seçenekleriyle karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. **Gültekin ve Kadıoğlu (2002)** Türkiye'deki bazı şehir merkezleri için ısıtma taban sıcaklıklarının değişimiyle enerji ihtiyacının nasıl değişeceğini hesaplamışlardır. **Sarak ve Satman (2003), Satman ve Yalçınkaya (1999)** tarafından hazırlanan 15, 17 ve 18,3 ^{o}C taban sıcaklıkları için hesaplanan ısıtma derece-saat değerlerini ve Türkiye için değişik doğalgaz konut tüketici oranlarını kullanarak, ileriye dönük doğalgaz tüketim miktarlarını hesaplamışlardır. **Moral-Carcedo ve Vicéns-Otero (2005)** İspanya'yı yedi ayrı iklim bölgesine ayırarak İspanya'nın elektrik tüketimini değişik regresyon modelleri ile modellemişlerdir. Modellerinde Çarşamba gününü taban alarak haftanın diğer günlerde ve tatil günlerinde tüketilecek enerjinin bulunmasında kullanılacak farklı katsayılar bulmuşlardır. Ayrıca modellerinde eğilim, mevsimsellik gibi etkileri de belirtmişlerdir. **Şener ve diğ., (2005)** Balçova jeotermal bölge ısıtma sistemi için kısa süreli (72 saatlik) ısı ihtiyacını modellemiştir. Daha önce kullanılan debi miktarı ve hava sıcaklıkları zaman serisinden model üretilmiştir. Kullanılan model ile gelecek üç günün hava tahminine göre, kısa süreli enerji ihtiyacının belirlenmesi planlanmıştır. **Mirasgedis ve diğ., (2006)** Yunanistan için gerekli elektrik enerjisi ihtiyacını modellemişlerdir. Elektrik tüketimi için önceki iki günün sıcaklıklarının ve o günkü nispi nem oranının etkili olduğunu belirtmişlerdir. Yunanistan'ın elektrik enerjisinin asgari tüketiminin 18,5 ^{o}C olduğunu, her ısıtma dönemindeki her 1 ^{o}C için tüketimin %1,1 arttığını, halbuki soğutma ise bu oranın %2,6 olduğunu bulmuşlardır. **Sailor ve Vasireddy (2006)** ısıtma ve soğutma derece-gün değerlerini kullanarak ABD'deki üç eyaletin ve bunların başlıca şehirlerinin; eyalet ve şehir bazında hane

başına düşen elektrik enerjisi tüketim davranışını doğrusal regresyon modeli oluşturarak hesaplamışlardır.

5.2 Isı İhtiyacının Modellenmesi

AFJET tarafından kullanılan jeotermal suların debileri saatlik olarak, sayaçtan geçen değerlerin okunması ile elle kaydı tutulmaktadır. Daha sonra bu debiler toplanır ve günlük değerler bulunur. Günlük değerlerin alınması, debi değerlerin tam vaktinde okunmaması gibi sorunları giderdiği için daha az hataya sebep olur. Daha donra günlük kullanılan değerleri 24'e bölerek saatlik kullanım bulunur. Sahip olunan dataya göre kullanılabilecek modeller Şekil 5.1 de verilmiştir. AFJET tarafından kaydı tutulan debi değerleri ısıtma merkezine gelen su miktarını belirttiğinden, aynı zamanda kullanılan enerjiyi vermektedir.



Şekil 5.1: Isıtma modelleri **(Valdimarsson, 1993)**

5.2.1 Verilen Isı Modeli

AFJET ısıtma merkezine gelen suyun sıcaklığını 98 ^{o}C ve ısıtma merkezinden dönen suyun sıcaklığını da 45 ^{o}C kabul edilirse, debi de bilindiği için ne kadar ısının binalar tarafından kullanıldığını bulunabilir (Denklem 5.1).

$$Q=m*c*(T_1-T_2) \qquad \text{(Denklem 5.1)}$$

Q = Kullanılan enerji (J)

m = Kütle (kg)

c = Özısı (J/kg ^{o}K)

T_1 = Giren suyun sıcaklığı (^{o}C)

T_2 = Çıkan suyun sıcaklığı (^{o}C)

Isıtma merkezinde ve bina altlarında kullanılan eşanjörlerdeki ısı kayıpları ihmal edilebilir **(Şener, 2006).** Bu yüzden aradaki ısı farkı tamamen binaların kazancı olarak kabullenilmiştir.

5.2.2. Bina Isı Kaybı Modeli

Binaların ısı kaybı modellerinde etki eden meteorolojik faktörler aynı olmadığından hesaplanması daha zordur. Güneye tam bakan bir binanın ısıtılması için güneybatıya 40^{o} ve 80^{o} açılarla bakan binalara göre sırasıyla %2 ve %4 daha az enerji gerektirmektedir **(Aksoy ve diğ., 2004).** Ayrıca rüzgar infiltrasyon hızını ve konvektif ısı transferini arttırmaktadır **(Sailor, 2006).** Her binanın rüzgarı eşit oranda alması da söz konusu değildir. Bu yüzden meteorolojik parametrelerle bina ısı kayıplarının hesaplanması zordur. Fakat bina ısı kayıplarında dış hava sıcaklığı ile konfor sıcaklığı arasındaki farktan yararlanarak hesaplanabilir (Denklem 5.2). Buradaki ısı kaybı dış hava sıcaklığının fonksiyonudur **(Yıldırım, 2002).**

$$Q_{kayıp}=k*(T_i-T_d) \qquad \text{(Denklem 5.2)}$$

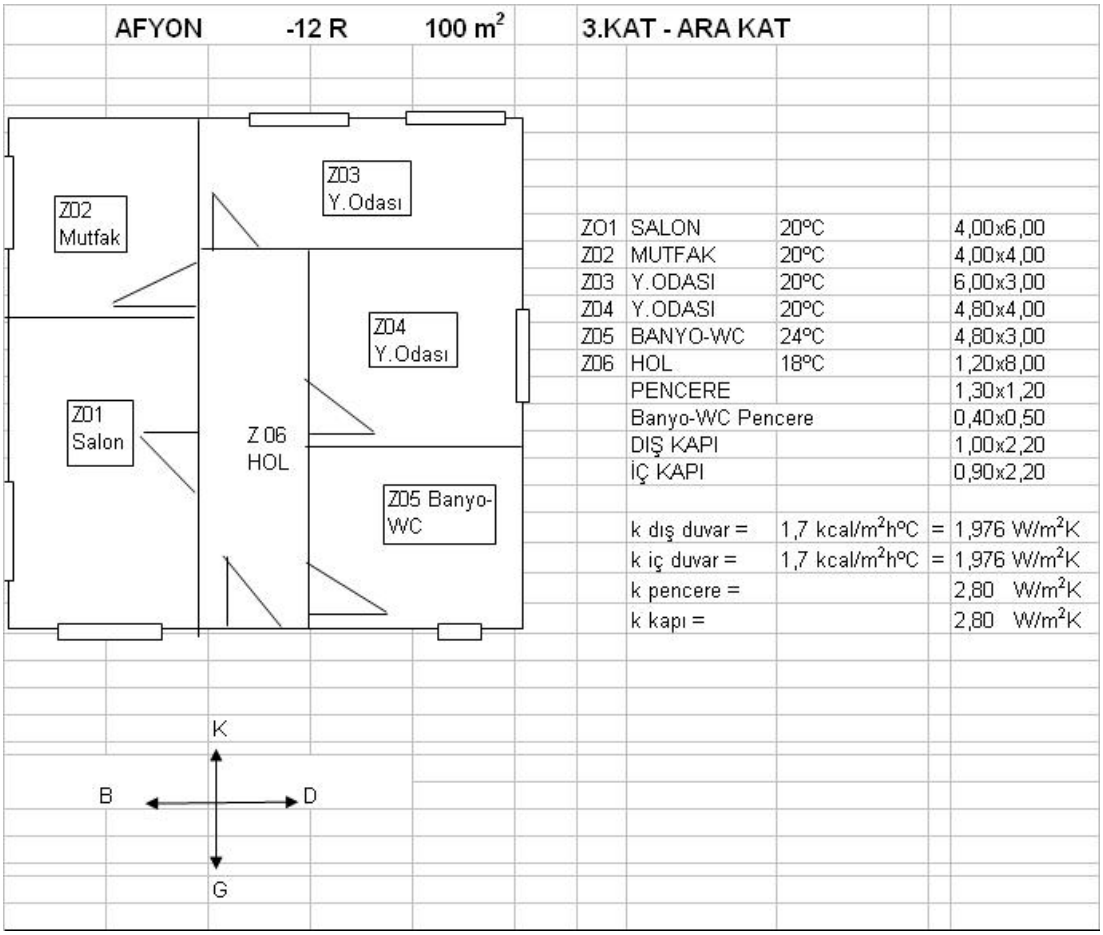
$Q_{kayıp}$ = Bina ısı kaybı

k = Bina ısı kaybı faktörü (J/^{o}C)

T_i = İç hava (Ortam) sıcaklığı (^{o}C)

T_d = Dış hava sıcaklığı (^{o}C)

TS 2164 de Afyon için belirtilen -12 ^{o}C ve rüzgarlı durumuna göre modellenen ev Şekil 5.2 de verilmiştir. Bu model ev için, dış hava sıcaklığı -12 ^{o}C ve rüzgarlı; bütün odalar 20 ^{o}C konfor sıcaklığına sahip, holün konfor sıcaklığı 18 ^{o}C ve banyonun konfor sıcaklığı ise 24 ^{o}C gibi kabuller uygulanmıştır. Ayrıca ev ara kat olup, 100 m^2 alana sahiptir. Tavandan ve tabandan ısı kaybı ihmal edilmiştir. 1979 tarihli **TS 825** "Binalarda Isı Yalıtım Kuralları" adlı standart 2000 yılında tekrar gözden geçirilerek, yeni yönetmelik yürürlüğe girmiştir. Bu yürürlüğe göre 3. Derece Isı Bölgesinde kalan Afyon için tavsiye edilen değerler Tablo 5.1 de verilmiştir.



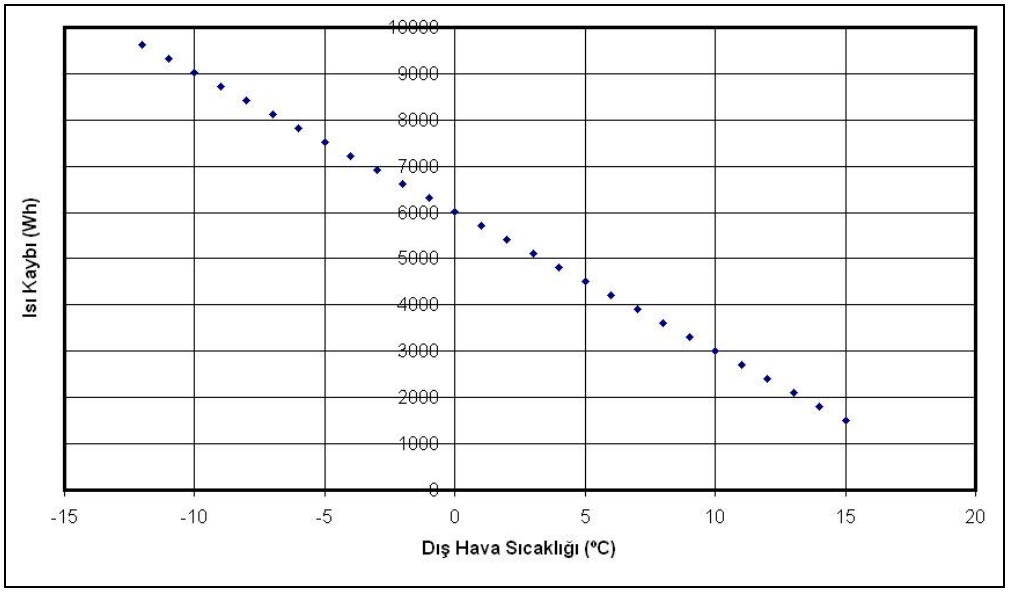
Şekil 5.2: Model ev ve özelikleri

Tablo 5.1: 3. Derece ısı bölgesindeki yerler için tavsiye edilen ve model evde kullanılan değerler **(TS 825)**

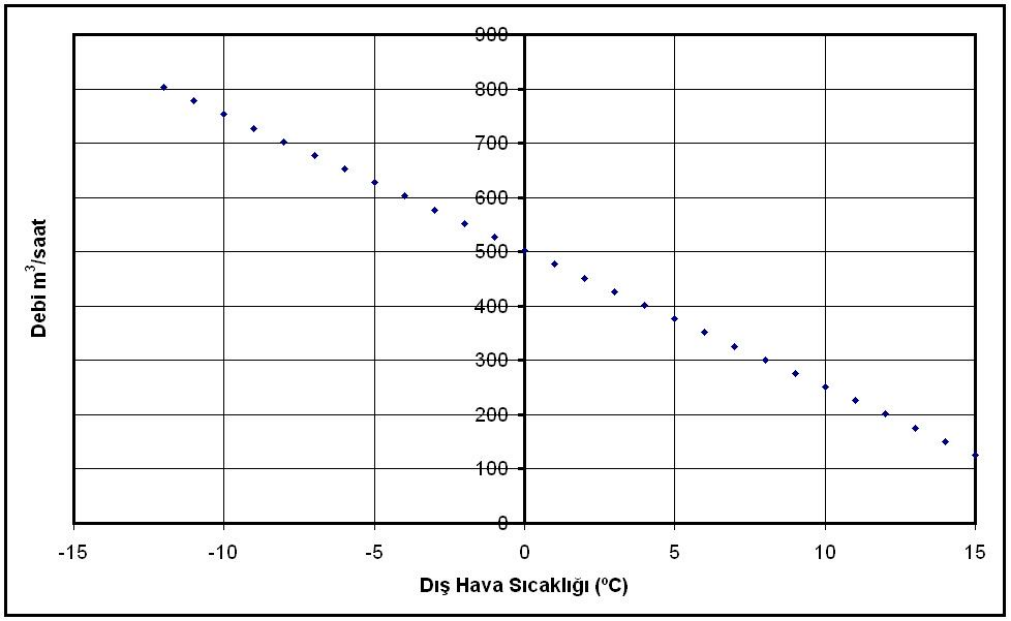
Ön görülen değerler	Model evde kullanılan değerler
U_D=0.5 W/m^{2}K (dış duvar)	1.976 W/m^{2}K
U_P=2.6 W/m^{2}K (pencere+cam)	2.800 W/m^{2}K
U_T=0.3 W/m^{2}K (Tavan)	-
U_t=0.45 W/m^{2}K (taban)	-

Tasarlanan model evin kabul değerleri halihazırda kullanılan değerlerden daha fazladır. Fakat tabandan ve tavandan ısı kaybı ihmal edildiği için bu değerlerin yüksek alınması normaldir. **TS 2164**'e göre 100 m^2 evin ısınması için gerekli olan ısı 8484 kCal/saat eşdeğeri olan 9867 Wh'tir **(Sabah ve Çelik, 1999).** Model ev için hesaplanan gerekli ısı 9635 Wh (8285 kCal/saat) olup, **Sabah ve Çelik (1999)** tarafından bulunan değerle uyumludur. Model evin konfor sıcaklıklarında bulunması için değişik dış hava sıcaklıklarında gerekli olan ısı miktarı Şekil 5.3 de verilmiştir.

Bina ısı kaybı modeli ile verilen enerji modellerini ortak kullanımında, sistem tarafından verilen enerjinin hepsinin binaların ısıtılması için gerekli olduğu düşünülebilir. Tüm sistemin toplam ısıttığı alan 513.683 m^2'dir. Model ev için hesaplanan ısı miktarlarına göre, değişik dış hava sıcaklıklarında tüm sistemin ısınması için gerekli olan debi değerleri Şekil 5.4 de verilmiştir. Bu debi değerleri hesaplanırken suyun öz ısısı 4,1868 J/gr, özgül ağırlığı ise 1 g/cm^3 alınmıştır. Çıkış sıcaklığı da 45 ^oC alınmıştır.



Şekil 5.3: Değişik dış hava sıcaklıklarında model ev için gerekli saatlik ısı miktarı



Şekil 5.4: Değişik dış hava sıcaklıklarında AFJET ile ısıtılan bütün konutların ısıtılması için gerekli saatlik debi miktarı

5.2.3 Oto Regresif Model

Kullanılan ısının davranışının incelenmesinde etkili olabilecek meteorolojik etkenler başta sıcaklık olmak üzere, rüzgar, güneşlenme şiddeti ve nem olabilir. Nem daha çok yazın soğutma gerekli olduğu zamanlarda etkilidir. Uygulanan modellerde nemin etkisi az olduğu için çıkarılmıştır. ARX(1) zaman serisi modelinde kullanılan değişkenler sıcaklık, rüzgar, güneşlenme şiddeti ve bir gün öncesinin kullanılan debi değeridir (Denklem 5.3). 2001-2002, 2002-2003, 2004-2005 yıllarına ait değerler kalibrasyon için uygunluğu sınanmıştır. 2003-2004 ısıtma sezonun bir kısmında debi değerlerinin olmaması başka bir kısmında ise güneşlenme şiddeti değerlerinin olmaması sebebiyle bu sezonun değerleri kalibrasyonda kullanılamamıştır. Kalibrasyon yılları için elde edilen hata miktarlarının karelerinin ortalamalarının karekökleri (RMSE - Root Mean Square Error) Tablo 5.2. de verilmiştir. Kalibrasyon yıllarının hata miktarlarının en az kendilerinde çıkması normaldir. Kullanılan debi girdisi olarak bir ya da iki gün öncesi değerlerinin kullanılmasının karşılaştırması yapılırsa iki günlük debi değerlerinin kullanılması önemli katkı yapmamıştır.

Tablo 5.2. Kalibrasyon sonucu RMSE miktarları

Kalibrasyon İçin Model Alınan Isıtma Yılları	Hata Miktarları (RMSE)					
	Debi Girdisi (Q_{t-1})			Debi Girdileri (Q_{t-1}) (Q_{t-2})		
	2001-02	2002-03	2004-05	2001-02	2002-03	2004-05
2001-2002	29,38	29,97	29,93	28,97	29,55	31,48
2002-2003	20,50	19,61	20,82	19,76	19,08	21,31
2004-2005	19,81	20,21	17,90	20,01	20,63	17,29

Tablo 5.2. de görüldüğü gibi kalibrasyon yılı olarak 2004-2005 ısıtma sezonu alınmıştır. Gerek daha az veri gerektirmesi gerekse de önemli bir gelişme sağlamadığı için tek debi girdili model kullanılmıştır. 2004-2005 ısıtma sezonu değerleri kullanılarak ARX(1) zaman serisi modeline göre elde edilen katsayılar ve denklem verilmiştir (Denklem 5.3). Isı yükü m^3, sıcaklık Fahrenheit, rüzgar hızı km/saat, güneşlenme şiddeti cal/cm^2.dakika değerinden kullanılmalıdır.

$$Q_t = 130.3+(T_t*-1.48)+(R_t*0.2)+(G_t*-0.024)+(Q_{t-1}*0.86) \quad \text{(Denklem 5.3)}$$

Q_t = Isı yükü

T = Sıcaklık

R = Rüzgar hızı

G = Güneşlenme şiddeti

t = Zaman göstergesi

Kullanılan değerlerden güneşlenme şiddeti haricinde diğer veriler, o günkü saatlik ortalama değerler iken; güneşlenme şiddeti günlük toplamı vermektedir. DMİ'ne bağlı meteoroloji istasyonlarında güneşlenme şiddeti değeri cal/cm^2.dakika cinsinden ölçülmektedir. Rüzgar değeri 10 metredeki rüzgar hızı olup, km/saat'e çevrilmelidir. Sıcaklık işaret değiştireceği için Fahrenheit olarak kullanılmıştır.

ARX modelinde AR otoregresif komponenti, X ise regresyondan gelen değişkenin varlığını simgelemektedir. Modelde bulunan AR komponenti, zaman endeksli çıktı değişkeninin zaman endeksinde kendinden önceki değerlerine bağlı olarak değiştiğini varsaymaktadır. X komponenti modelde en az bir tane bağımsız değişken bulunduğunu varsaymaktadır **(Şener ve diğ., 2005).**

5.3. Modellerin Sınanması

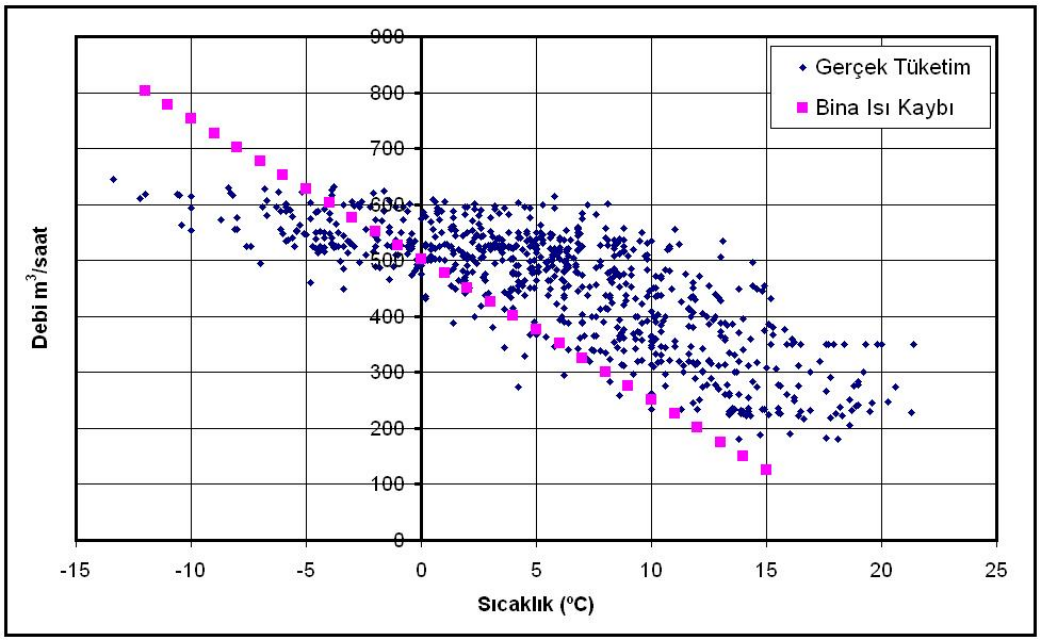
AFJET tarafından ısıtma sezonları başlangıcı ve sonu Tablo 5.3 de verilmiştir.2003-2004 ısıtma sezonunda debimetre arızalı olduğu için 17.11.003 ile 15.01.2004 tarihleri arasında 59 gün ölçüm yapılamamıştır. Meteoroloji verilerinde ise 01.03.2004 ile 01.05.204 tarihleri arasında aktinograf servis dışı olduğundan 61 gün güneşlenme şiddeti ölçümü yapılamamıştır. **Bayraktar (2002)** tarafından derece-gün değerleri baz alınarak, 15 ^{o}C taban sıcaklığında Afyon için hesaplanan ısıtma gün sayısı 225.7 gündür. Tablo 5.3 de verilen ısıtma süreleri bu değerden nispeten daha azdır. Bunun nedeni yaz ayı içinde, sistemin açılmasından önceki ve kapatılmasından sonra dönemle içinde günlük ortalama sıcaklığın kısa süreli de olsa 15 ^{o}C altına düşmesindendir.

Tablo 5.3: AFJET ısıtma sezonları

Isıtma Başlangıcı	Isıtma Sonu	Isıtma Süresi
24.10.2001	11.05.2002	200 gün
17.10.2002	10.05.2003	206 gün
15.10.2003	11.05.2004	210 gün
12.10.2004	16.05.2005	217 gün

5.3.1 Verilen Isı ve Bina Isı Kaybı Modellerinin Sınanması

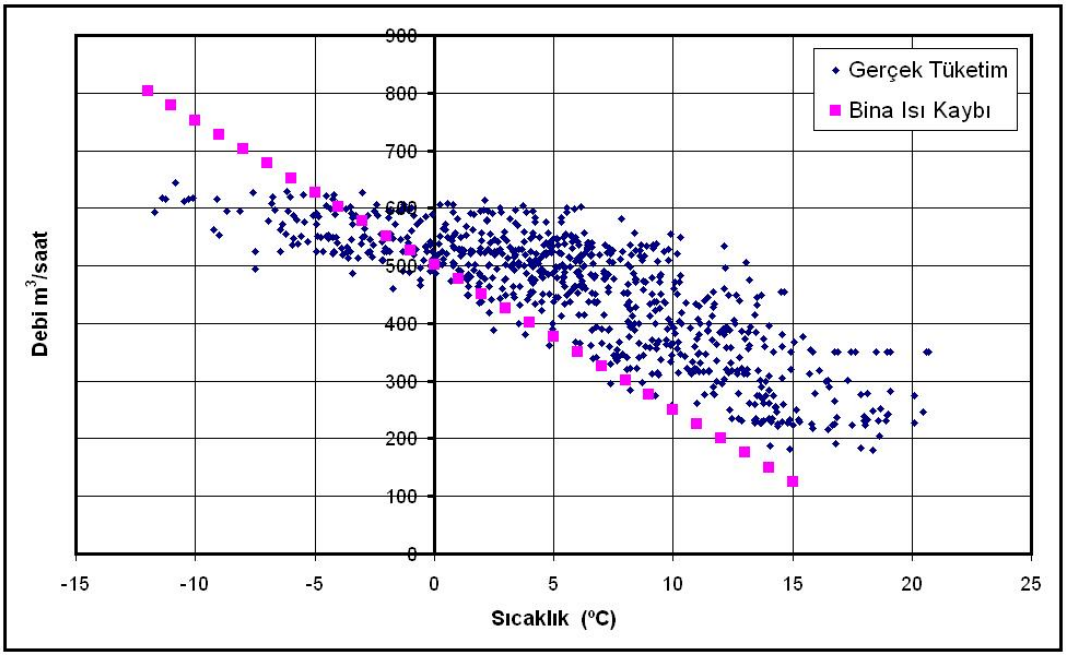
Bölüm 5.2.2 de bina ısı kaybı modeline göre hesaplanan debilerle, AFJET tarafından kaydedilen debilerin karşılaştırılması Şekil 5.5 de gösterilmiştir. Ayrıca bir önceki gün ile o günün sıcaklık ortalamalarından oluşan iki günlük sıcaklık ortalamalarına göre kullanılan debiler Şekil 5.6 da verilmiştir. İki günlük sıcaklık ortalamalarının amacı bina kabuğunda ısının depolanmasındandır. Debi ile ortalama hava sıcaklığı arasındaki Pearson ilgileşim değeri (r) -0.776 iken iki günlük ortalama ile olan Pearson ilgileşim değeri (r) -0.810 olmaktadır. Bu yüzden iki günlük ortalamaların kullanımı daha uygundur.



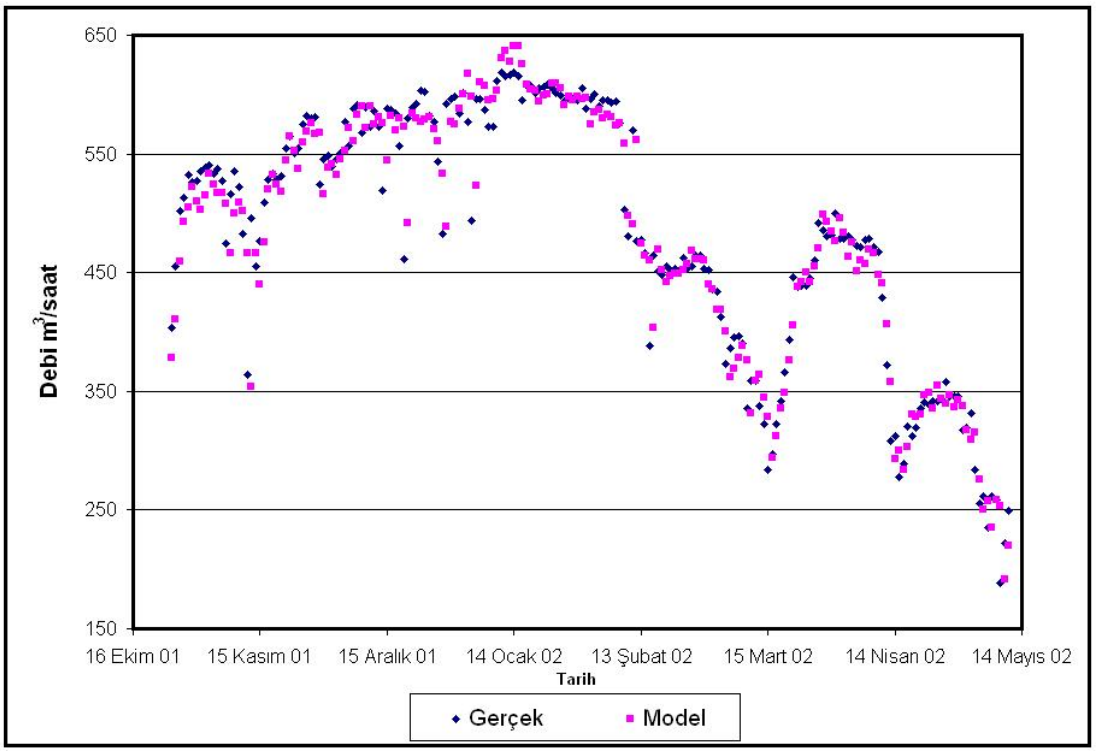
Şekil 5.5: Kullanılan debi miktarlarıyla, günlük ortalama hava sıcaklıklarının karşılaştırılması

5.3.2 Oto Regresif Modelin Sınanması

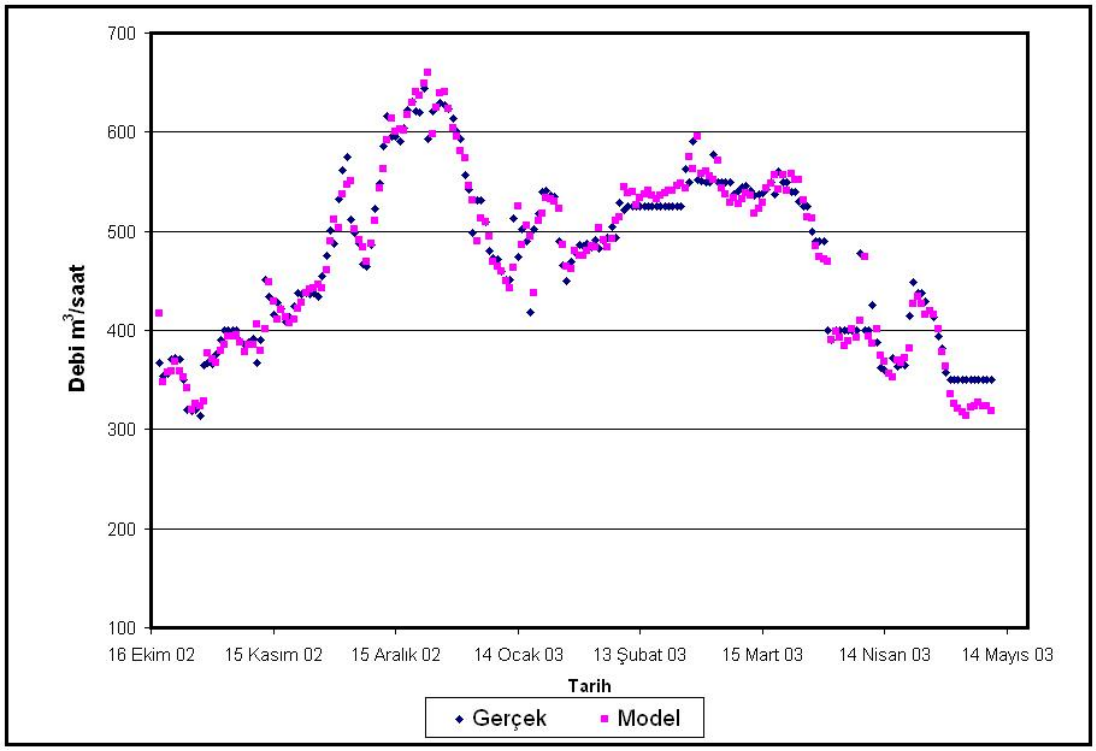
Zaman serilerinden üretilen oto regresif modelin (Denklem 5.3), AFJET tarafından tutulan kayıtlarla karşılaştırıldığında uyumlu olduğu görülür (Şekil 5.7-12). Ayrıca modeldeki parametrelerden sıcaklık ve güneşlenme şiddeti ile debi arasında zıt ilgileşim, rüzgar ile pozitif ilgileşim olması mantıksal yönden uygundur. Elde edilen değişkenlerin katsayılarına göre bir önceki günün debisi, o günkü debi üzerinde çok etkilidir.



Şekil 5.6: Kullanılan debi miktarlarıyla, iki günlük ortalama hava sıcaklıklarının karşılaştırılması

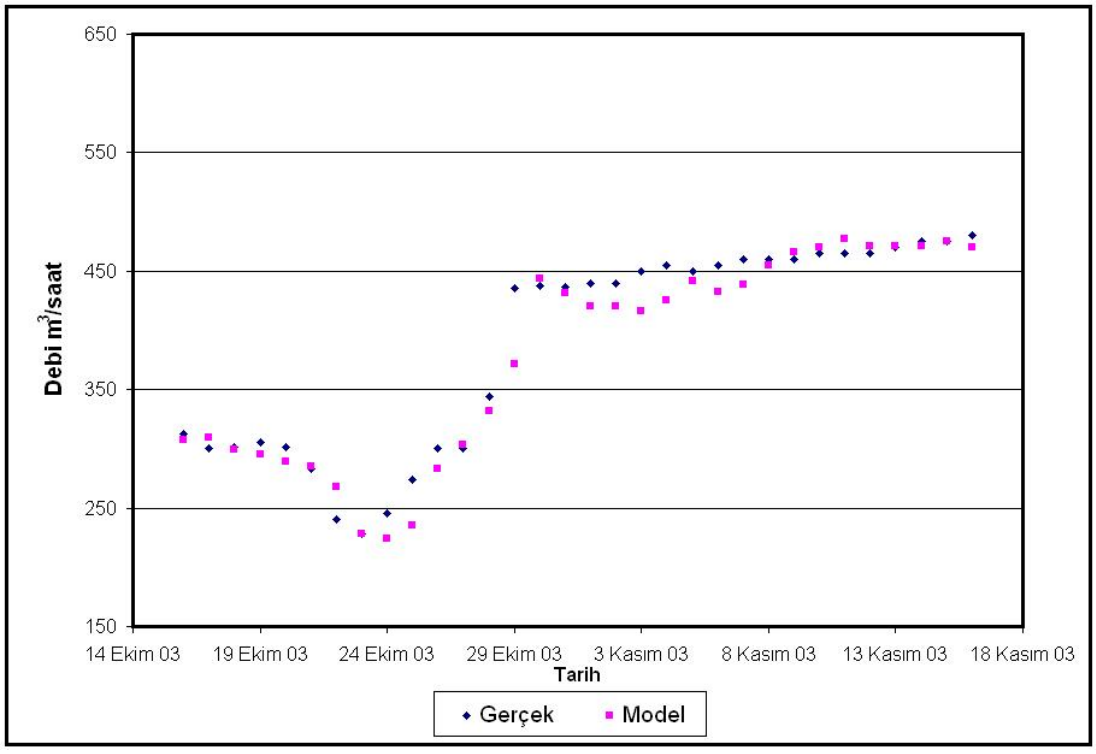


Şekil 5.7: Kullanılan debi miktarlarıyla, modelin karşılaştırılması (2001-2002 ısıtma sezonu)

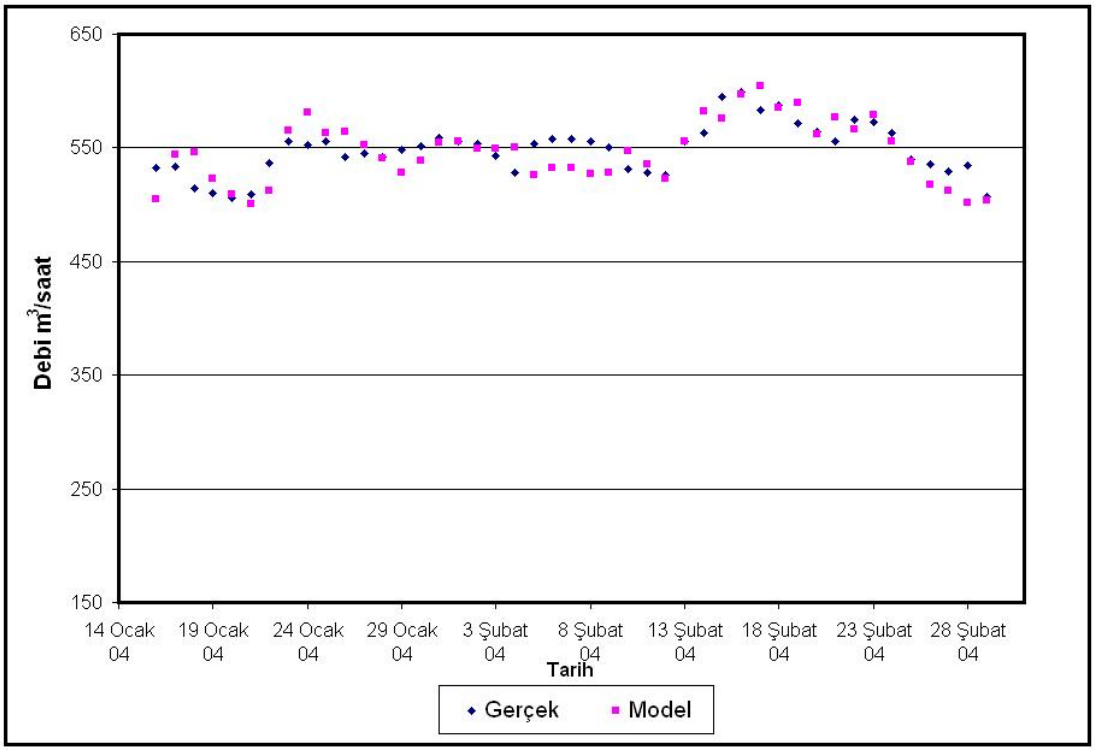


Şekil 5.8: Kullanılan debi miktarlarıyla, modelin karşılaştırılması (2002-2003 ısıtma sezonu)

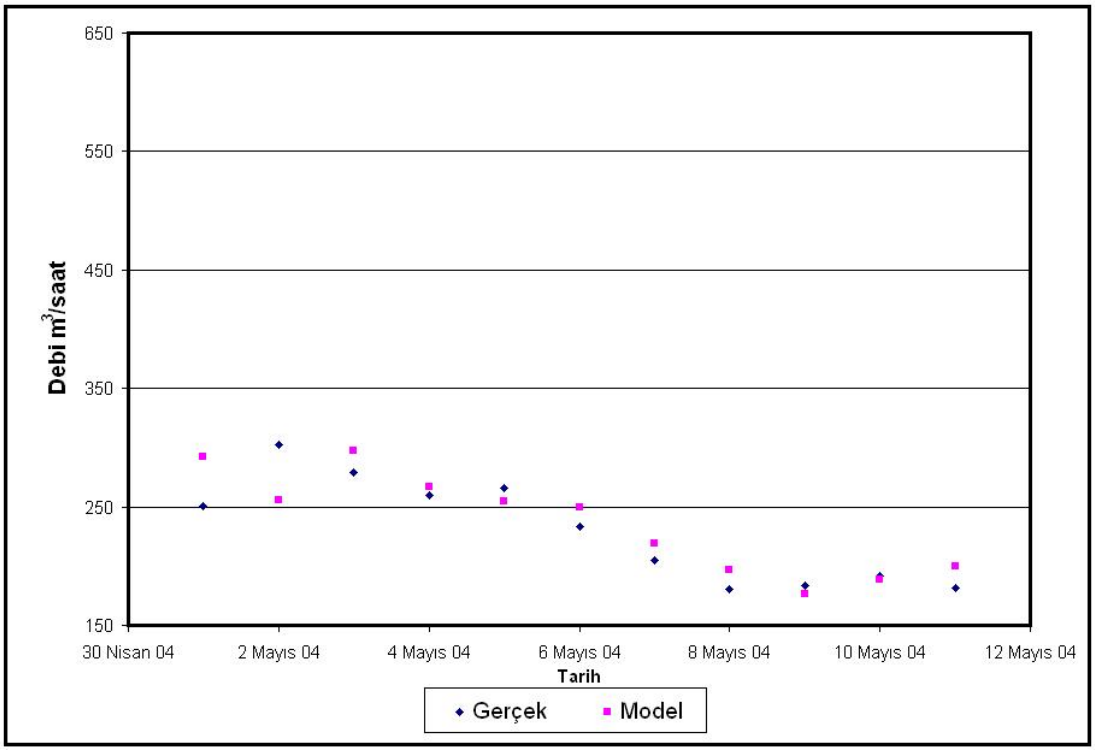
2003-2004 ısıtma sezonunun bir kısmında kullanılan debi değerlerinin, bir kısmında ise güneşlenme değerlerinin olmamasından dolayı zaman serisi parçalar halindedir. Her bir parça değişik şekillerde gösterilmiştir (Şekil 5.9-11).



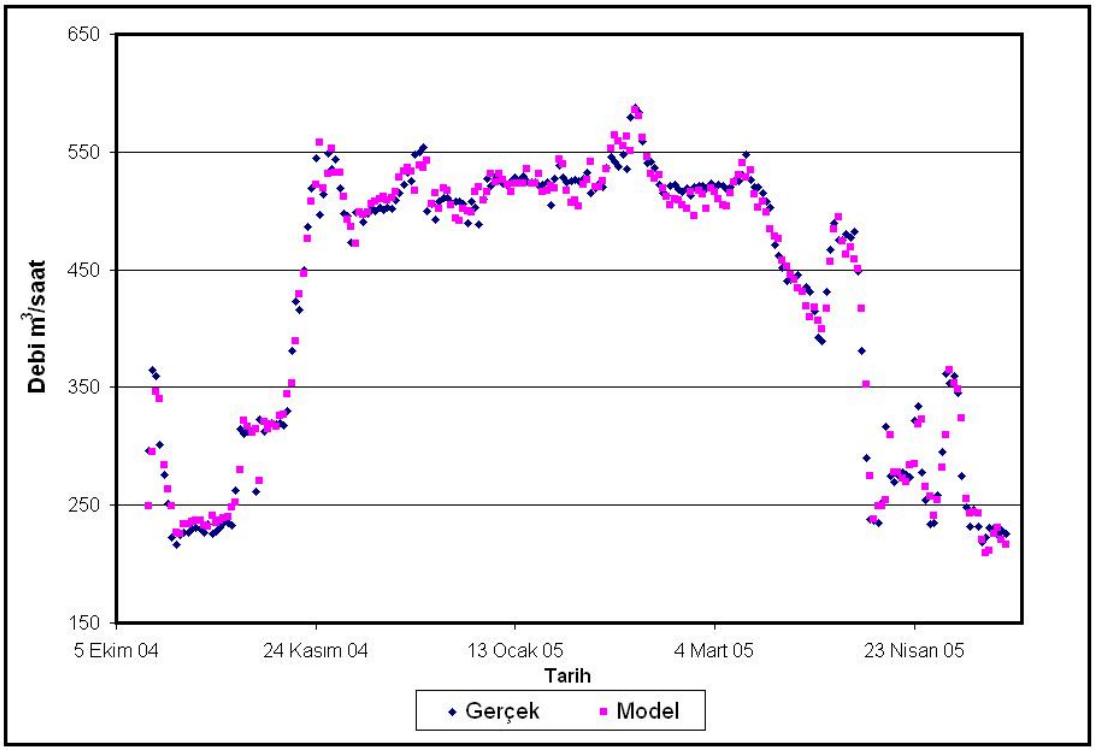
Şekil 5.9: Kullanılan debi miktarlarıyla, modelin karşılaştırılması (2003-2004 ısıtma sezonu)



Şekil 5.10: Kullanılan debi miktarlarıyla, modelin karşılaştırılması (2003-2004 ısıtma sezonu)

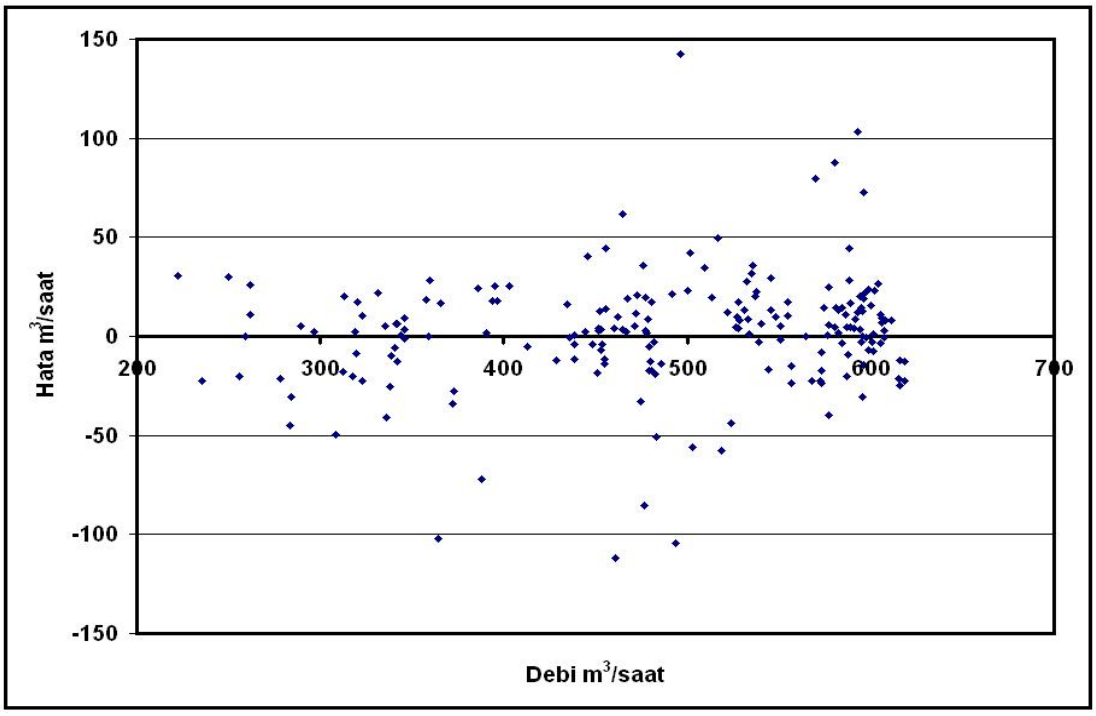


Şekil 5.11: Kullanılan debi miktarlarıyla, modelin karşılaştırılması (2003-2004 ısıtma sezonu)

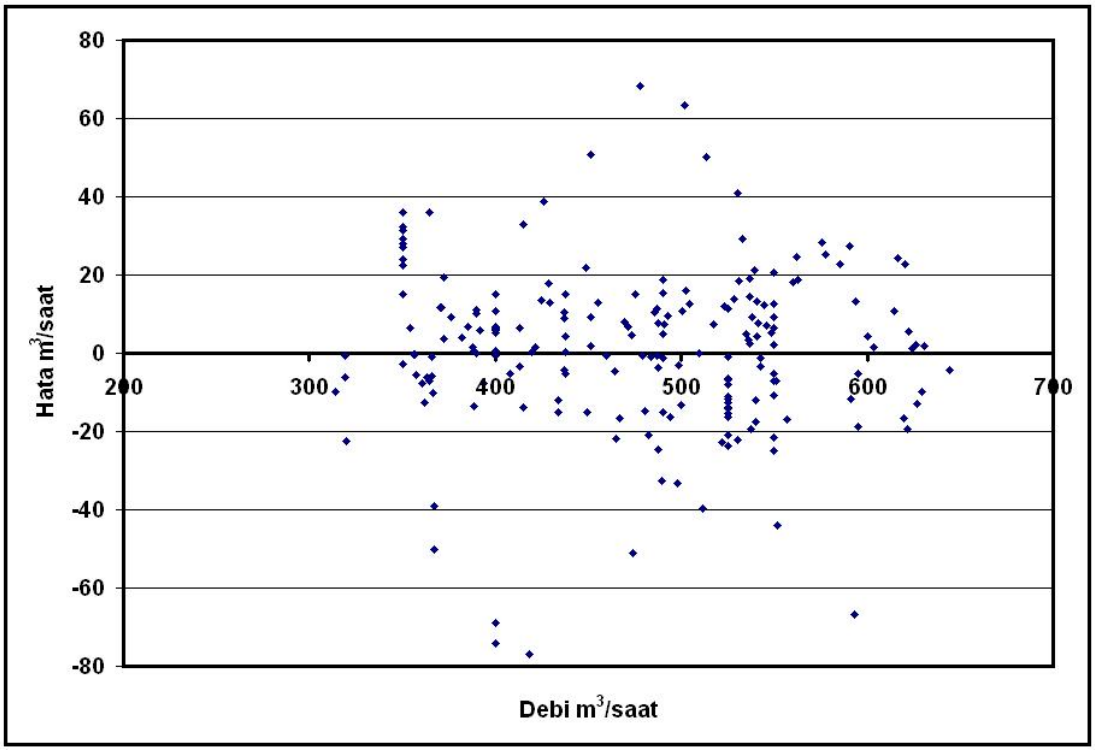


Şekil 5.12: Kullanılan debi miktarlarıyla, modelin karşılaştırılması (2004-2005 ısıtma sezonu)

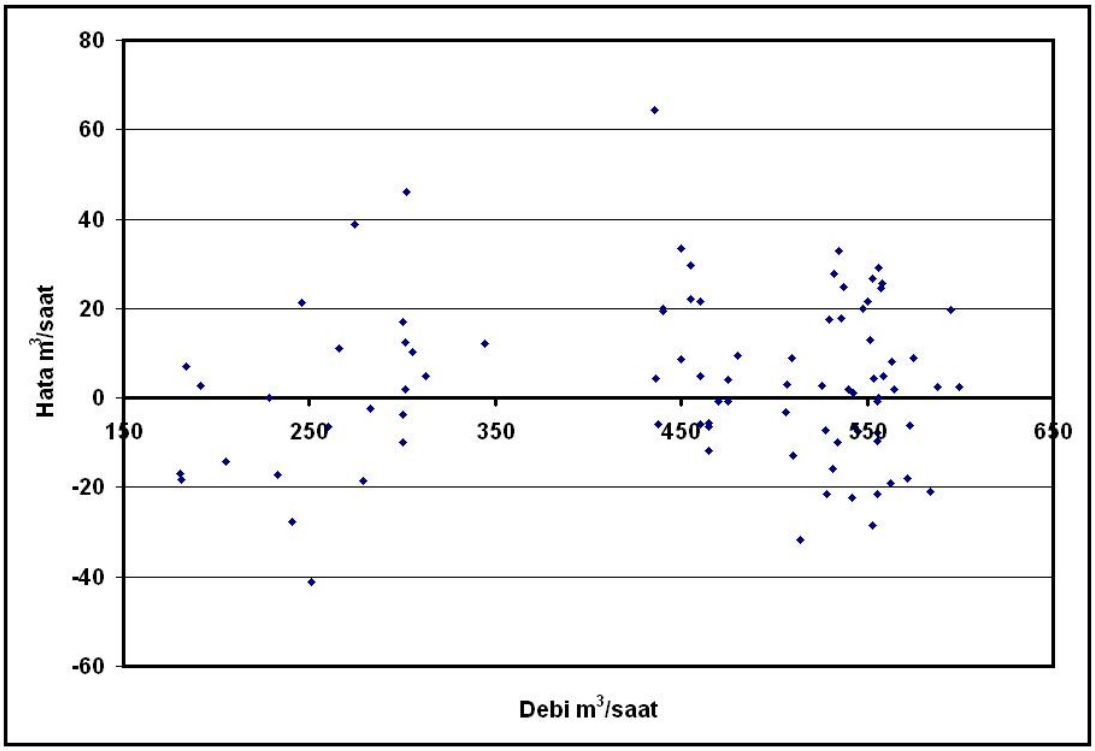
Model sonuçları ile gerçek sonuçlar arasındaki farklar Şekil (5.13-16) da verilmiştir. Modelin performansı 2001-2002 ısıtma sezonunda saha düşük olmasına rağmen genelde dikkat çekicidir.



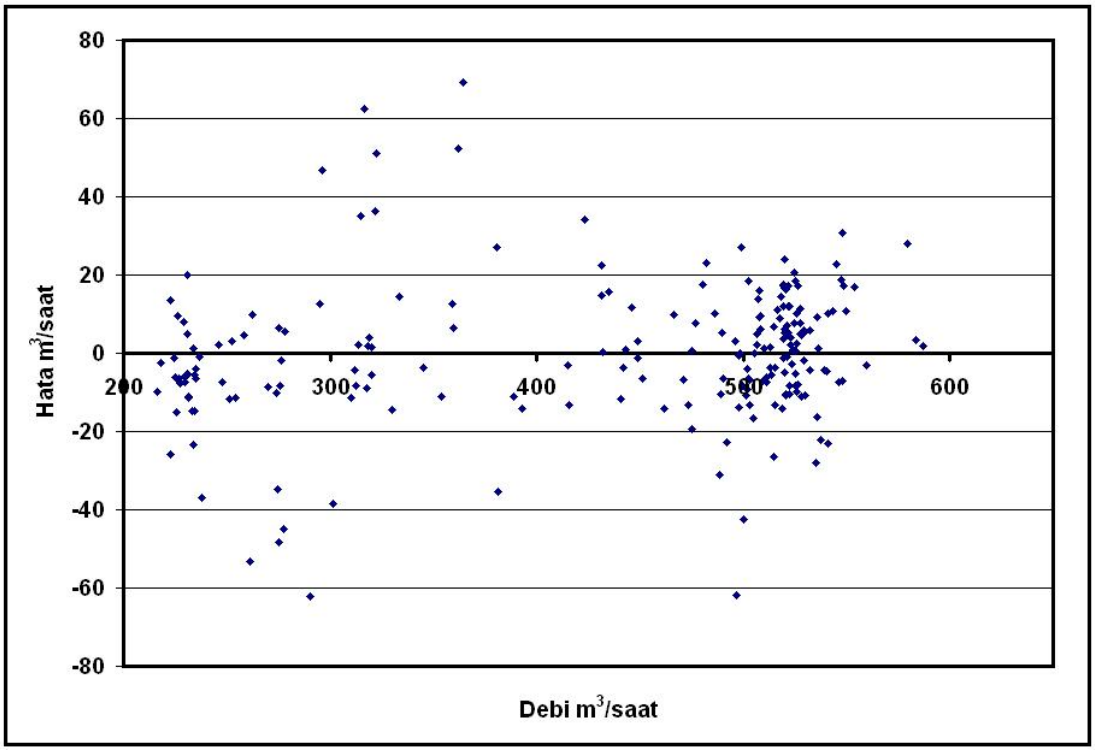
Şekil 5.13: Kullanılan debi ile hata miktarlarının karşılaştırılması (2001-2002 ısıtma sezonu)



Şekil 5.14: Kullanılan debi ile hata miktarlarının karşılaştırılması (2002-2003 ısıtma sezonu)



Şekil 5.15: Kullanılan debi ile hata miktarlarının karşılaştırılması (2003-2004 ısıtma sezonu)



Şekil 5.16: Kullanılan debi ile hata miktarlarının karşılaştırılması (2004-2005 ısıtma sezonu)

5.4 Derece-Gün Değerleri

Derece-gün değerleri kullanılarak, yıl içerisinde tüketilecek olan toplam enerji miktarı bulunabilir. 15 ^{o}C taban sıcaklığı baz alınırsa 2113,9 derece-gün olup, AFJET'in sıcaklığının 1 ^{o}C arttırılması için gerekli olan enerji miktarı eşdeğeri 25,0965 m^3/saattir. 1 gün için ise bu değer 602,31 m^3/gündür. Tüm yıl boyu için gerekli olan jeotermal su miktarı 1.273.235,79 m^3'tür. Bu değer tüketilen jeotermal su miktarlarına göre oldukça düşüktür (Tablo 5.4). Debi değerlerinin eksik olması sebebiyle Tablo 5.4 de 2003-2004 sezonu değerleri verilememiştir. Çünkü 15 ^{o}C taban sıcaklığı alınırken insan kaynaklı ısınma da hesaba katılmış ve oda konfor sıcaklığı düşük tutulmuştur. Halbuki tasarlanan model evde oda sıcaklıkları 20 ^{o}C ve banyo sıcaklığı ise 24 ^{o}C'dir.

Tablo 5.4: AFJET'de tüketilen yıllık jeotermal su miktarları

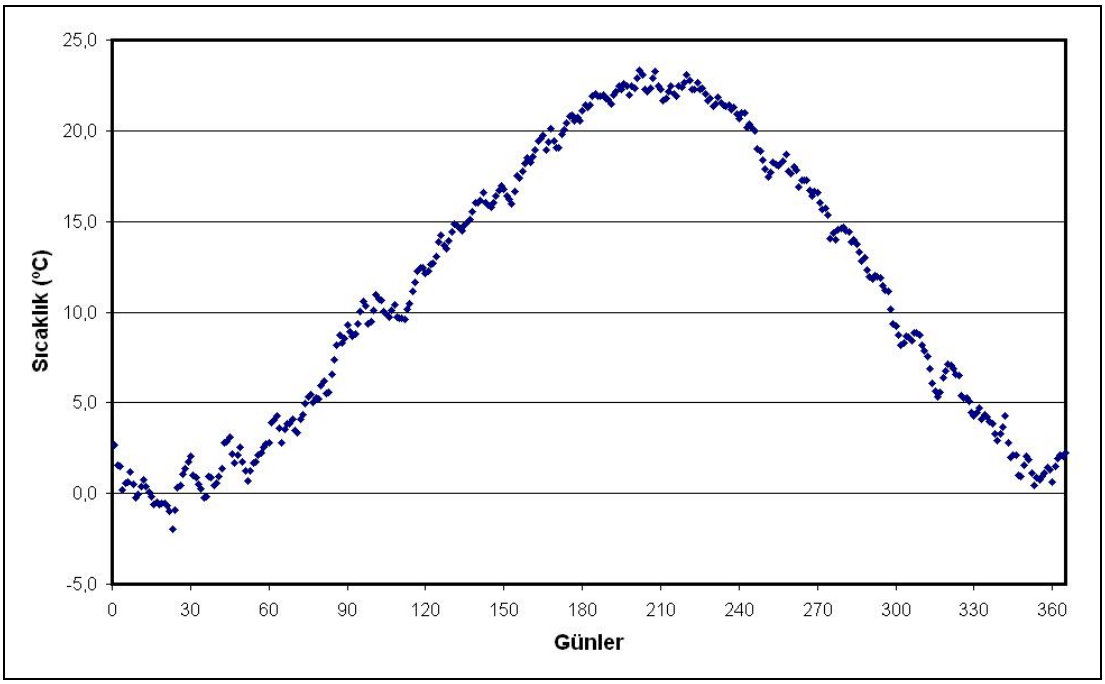
Isıtma Sezonu	Tüketilen Jeotermal Su Miktarı m^3
2001-2002	2.317.844,9
2002-2003	2,346.929,1
2004-2005	2,223.199,0

5.5 İleriye Dönük Projeksiyonlar

Halihazır şartlarda meteoroloji uzmanları sayısal analizleri yardımıyla en fazla 10 gün sonrasının tahminini yapmaktadır. Üç güne kadar yapılan tahminlerin tutarlılığı %80'den fazla iken ön görülen sürenin uzamasıyla tutarlılık oranı düşmektedir. Hava durumunun, özellikle hava sıcaklığının önceden bilinmesi enerji ekonomistleri ve enerji sistemleri tasarlayanlar açısından önemlidir. Gerek AFJET'in gerekse de diğer enerji yapılarının hangi dönemlerde nasıl çalışacağını gerek kurulurken gerekse de çalışma esnasında bilmek avantaj sağlayacaktır. Her ne kadar tahmini değerler kaba da olsa elde veri olması faydalıdır.

5.5.1 İklim Verilerinden Faydalanarak Enerji Tüketim Tahmini

1975-2005 yılları arasındaki 31 yıllık süreyi kapsayan Afyon iline ait günlük ortalama sıcaklıkları bulunarak, ne zaman debinin artacağını bilinebilir (Şekil 5.17). Hava sıcaklıkları genelde Afyon'da Ocak ayının ikinci yarısında en düşük seviyelerde bulunmaktadır. Bu yüzden Afyon'da debinin yeterli olmayacağı günlerin Ocak Ayının ikinci yarısında bulunması yüksek ihtimallidir. Bu süre içinde konfor sıcaklığının altında yaşanacağından dolayı, aradaki açığı kapatmak için tüketiciler en kolay ısınma aracı olan elektriğe başvurabilirler.



Şekil 5.17: Afyon günlük ortalama hava sıcaklıkları (1975-2005)

5.5.2 İklim Örüntülerinden Faydalanarak Enerji Tüketim Tahmini

AFJET'de tüketilen su miktarlarının aylık ortalama değerleri Tablo 5.5 de verilmiştir. Ekim ve Mayıs aylarının tamamında ısıtma yapılmadığı için; 2003 Kasım ayının ortalarından, 2004 Ocak ayının ortalarına kadar kullanılan debi miktarlarının ölçülememesinden dolayı bu aylara ait veriler Tablo 5.5 de verilememiştir. Tablo 5.5 deki "P" NCP pozitif evreyi gösterirken, "N" NCP negatif evreyi göstermektedir.

Tablo 5.5: AFJET'de tüketilen aylık ortalama su miktarları (ton/saat)

Yıl	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Kasım	Aralık
2001	-	-	-	-	P 525,9	568,5
2002	P 596,5	N 501,3	403,3	P 381,7	N 420,4	P 577,8
2003	494,7	P 523,0	P 532,9	P 397,0	-	-
2004	-	554,3	462,8	P 353,3	P 380,4	P 508,9
2005	521,3	533,9	485,0	334,4	-	-

NCP negatif fazlarda, 2002 Şubat ayı için diğer Şubat aylarından daha az sıcak su tüketilmiştir. 2002 Kasım ayı için ise 2001 Kasım ayından daha az olmakla beraber pozitif faz olan 2004 Kasım ayından daha fazla tüketilmiştir. Pozitif fazlarda ise 2002 Ocak ayında diğer Ocak aylarından daha fazla su tüketilmiştir. 2003 Şubat ayında ise 2002 Şubat ayına göre daha fazla su tüketilmiştir. En belirgin fark Mart 2003 Mart ayında gözlenmiştir. Bu ayın değeri diğer ayların ortalamasından daha fazladır. NCP pozitif fazdaki 2002, 2003, 2004 Nisan ayları ortalama su tüketim değeri nötr olan 2005 Nisan ayından daha fazladır. Kasım ayları için, 2001 değeri negatif fazdaki 2002 değerinden fazla iken; 2004 değeri negatif fazda olan 2002 değerinden azdır. 2001 Aralık ayı değeri nötr olmasına karşın pozitif olan 2002 ve 2004 değerlerinden fazladır.

Tablo 5.6: NCP evreleri ve Afyon aylık ortalama sıcaklıkları (^{o}C)

Ortalama Sıcaklık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Ekim	Kasım	Aralık
Negatif Evre	2.6	3.8	6.7	11.8	15.3	13.8	7.7	4.1
Nötr Evre	0.2	1.5	5.3	10.3	15.0	12.3	6.3	1.9
Pozitif Evre	-2.8	-1.0	3.4	8.9	14.5	10.6	5.6	-0.1
Fark (N-P)	**5.5**	**4.8**	**3.3**	**2.9**	**0.8**	**3.2**	**2.0**	**4.2**

Afyon için, ısıtma dönemindeki ayların; NCP fazlarındaki aylık ortalama sıcaklıkları Tablo 5.6 da verilmiştir. Afyon için NCP fazları arasındaki fark Ocak aylarında en belirgindir. Isıtmanın üst düzeyde yapıldığı Ocak, Şubat ve Aralık aylarında negatif ve pozitif evreler arasındaki fark belirgindir. En düşük sıcaklıklar genellikle NCP

pozitif fazda gözlemlendiği, en düşük sıcaklıkların ise NCP negatif evrede gözlemlendiği söylenebilir. Fakat bu her zaman geçerli değildir. Negatif evrelerde daha fazla tüketim veya pozitif evrelerde daha az tüketim olabilmektedir (Tablo 5.5). Fakat NCP pozitif evrelerde daha fazla tüketimin olacağı, negatif evrelerde ise daha az tüketimin olacağı söylenebilir. Eğer NCP evreleri önceden bilinebilirse bu devrenin negatif veya pozitif olmasına göre daha önceki aylardan ne kadar tüketim yapılacağı tahmin edilebilir.

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Jeotermal enerji kullanımında amaç enerjiden faydalanmaktadır. Halbuki, jeotermal suların beraberinde getirdiği çözünmüş maddeler, doğaya salınması durumunda doğaya zarar vermesi söz konusudur. Reenjeksiyon sayesinde doğaya zarar vermeden jeotermal enerjiden faydalanılabilmektedir. Fakat Ömer-Gecek jeotermal sahasında reenjeksiyon ile geri basılacak suyun kapasitesi sınırlıdır. Kapasitenin üzerinde kullanılan su Akarçay'a bırakılmaktadır. Akarçay'ın aktığı Eber Gölü kapalı havza olmasından dolayı uzun zamanda kirlenmektedir. Jeotermal suyun geçtiği formasyonlar karbonatlı olduğundan sıcak sular karbonatları eritirler. Ayrıca uzun zaman dolaşımda kalmasından dolayı klor iyonları içermektedir. Beraberinde yüksek oranda klor ve karbonat getirmektedir. Ayrıca günümüzde turizm teşviği altında daha fazla termal tesisin yapılması yüzünden daha çok miktarda sıcak suya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yüzden açılan kuyular AFJET'in kuyularındaki su seviyesini düşürmektedir. Gerek rezervuar basıncının korunması gerekse de daha az miktarda jeotermal suyun Akarçay'a bırakılmasından dolayı en uygun debi çok önemlidir.

NCP örüntüsü sıcaklıklarla çok yüksek ilgileşim gösterir. Afyon için NCP pozitif ve negatif fazları arasındaki sıcaklık farkları Aralık, Ocak ve Şubat ayları için sırasıyla 4.2 ^{o}C, 5.5 ^{o}C ve 4.8 ^{o}C'dir. NCP'nin faz farkları ısıtma sezonlarında belirgindir. NCP'nin karakteristiği, nasıl davrandığı önceden bilinebilirse; Afyon'un daha sonrası özellikle Türkiye'nin kış sezonunda ne kadar enerji tüketeceğini önceden tahmin edebiliriz. Fakat halihazırda NCP'nin nasıl davrandığının bilinmesi mümkün değildir.

AFJET veri seti kullanılarak lineer regresyon üretilmiştir (Denklem 5.3). Üretilen model oldukça başarılıdır. Isıtma dönemlerindeki ortalamalar ve bunların debi üzerindeki etkileri Tablo 6.1 de verilmiştir. Oto regresif modelden elde edilen değişken katsayılarına göre bir önceki günün debisi ve o günün sıcaklığı, o günün debisinin belirlenmesinde oldukça önemlidir. Bunun nedeni bir sonraki günün havasının, o günün havasına benzer bir karakteristik göstermesindendir. RMSE

miktarları 18 ila 30 ton arasında değişmektedir. Bu model gerek kullanım kolaylığı gerekse de bir gün sonraki beklenen hava durumunun sıcaklık, rüzgar ve güneşlenme gibi değişkenlerin çok yüksek oranda bilinebilirliği yüzünden tercih edilebilir.

Tablo 6.1. Isıtma dönemlerindeki değişkenlerin ortalamaları ve bunların debiye etki miktarları

Değişken	Ortalama	Etki Miktarı m^3
Sıcaklık (^oF)	41.9	- 62
Rüzgar hızı (km/saat)	7.2	1.4
Güneşlenme şiddeti (cal/cm^2.dakika)	272	- 6.5
Bir önceki günün debisi (m^3)	461.6	397

AFJET'in genel kullanım performansı arzu edilen en uygun debinin üzerindedir (Şekil 5.5-6). Bunun başlıca nedenleri evlerin ısıya karşı yeterince iyi yalıtılmaması; bina altlarındaki ve ana merkezdeki eşanjörlerde verimin %100 olarak kabul edilmesidir. Şehir içindeki kaçaklar ve ısınının evlere taşınımı sırasındaki kayıplar da ihmal edilmiştir. AFJET şehir merkezindeki şehirden gelen suyun sıcaklığı ve debisi bilinirse buradaki eşanjörlerin verimi bilinebilir. Her bina için böyle bir ölçüm yapmak mümkün değildir. Fakat en azından ana eşanjörün veriminin bilinmesi daha kolay ve çok daha az zahmetlidir. Eğer ana merkezdeki eşanjörün ve bina altlarındaki eşanjörlerin veya binaya gelen suların sıcaklıkları bilinirse AFJET'in gerçek verimi bilinebilir.

Afyon'da konutların büyük bir kısmı ömür ile ısınmaktadır. Henüz doğalgaz kullanılmamaktadır. Afyon merkeze ait günlük elektrik tüketimi veri setinin elde edilmesi halinde, jeotermal enerji ve elektrik tüketimi arasındaki ilgileşim hesap edilebilir. Dahası AFJET'in yetersiz kalacağı bir zaman zarfında elektrik tüketimindeki artış miktarı bulunarak ne kadar yük getirdiği de araştırılabilir.

KAYNAKLAR

Afşin, M., 1997. Hydrochemical evolution and water quality along the groundwater flow path in the Sandıklı plain, Afyon, Turkey, *Environmental Geology*, **31(3/4)**, 221-230.

Akan, B., 2003. Afyon Ömer-Gecek jeotermal sisteminde reenjeksiyon uygulamalarının rezervuar sıcaklığı üzerine etkilerinin modellenmesi, *Yerbilimleri*, **28**, 81-97.

Akkuş, İ., Akıllı, H., Ceyhan, S., Dilemre, A. ve Tekin, Z., 2005. *Türkiye Jeotermal Kaynakları Envanteri*, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara, 849 p.

Aksoy, U.T., İnallı, M. ve Tuğal, M., 2004. Kompozit bir duvarda mevsimlik ısı kayıp-kazancı ve yön ilişkisinin belirlenmesi, *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **16(1),** 115-125.

Arnorsson, S., 1985. The use of mixing models and chemical geothermometers for estimating underground temperatures in geothermal systems, *J Volcanol Geotherm Res,* **23,** 299-335.

Arnorsson, S., Gunnlaugsson, E. ve Svavarsson, H., 1983. The chemistry of geothermal waters in Iceland-III. Chemical geothermometry in geothermal investigations, *Geochim Cosmochim Acta,* **47,** 567-577.

ASHRAE, 1997. *Konutlarda Soğutma ve Isıtma Yükü Hesapları*, Temel El Kitabı. TTMD Yayınları, 25, Ankara.

Atilla A.Ö., 2003. Afyon Ovası soğuk su akifer sisteminde kirlenme modeli, *Yerbilimleri*, **28**, 49-63.

Bakaç, M. ve Kumru, M.N., 2001. Factor analysis in the geochemical studies along the Gediz river, Turkey, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry,* **249**, 617-624.

Bayraktar, K.G., 2002. Türkiye için dış hesap sıcaklıkları ve derece gün sayılarının değerlendirilmesi, *Doktora Tezi,* İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Bayraktar, K.G., Dağsöz, A.K. ve Kılıç, A., 2003. Dış hesap sıcaklıkları ve ülke ekonomisine etkileri, *İTÜ Dergisi/d Mühendislik*, **2,** 73-82.

Besang, C., Eckardt, F.J., Harre, W., Kreuzer, H. ve Müller, P., 1977. Radiometrische Altersbestimmungen an neogen Eruptivegesteinen der Türkie, *Geol Jahrb*, **25**, 3-36.

Büyükalaca, O., Bulut, H. ve Yılmaz, T., 2001. Analysis of variable-base heating and cooling degree-days for Turkey, *Applied Energy*, **69**, 269-283.

Çelik, M.Y. ve Sabah, E., 2002. The geological and technical characterization of Ömer-Gecek geothermal area and the environmental impact assessment of geothermal heating system in Afyon, Turkey, *Environmental Geology,* **41,** 942-953.

Çevikbaş, A., Ercan, T. ve Metin, S., 1988. Geology and regional distribution neogene volcanics between Afyon-Şuhut, *Middle east Technical University Journal of Pure and Applied Science,* **21(1-3),** 479-499.

Demirbilek, F.N., 1992. Correlation between winter design temperature and mass of the exterior walls, *Doktora Tezi,* O.D.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Demirbilek, F.N. ve Yener, C., 1996. A proposal values for "Correction Values" for winter outdoor design temperatures, *Solar Energy,* **57,** 111-116.

Dewey, J.F. ve Şengör, A.M.C., 1979. The Aegean and surrounding regions: complex multiplate and continuum tectonics in a convergent zone, *Geol Soc Am Bull,* **90,** 84-92.

DIN 4710, 1982. Meteorologische Daten zur Berechnung des Energieverbrauches von heiz-und raumlufttechnischen Anlagen, *Beuth Verlag,* Berlin.

Doğdu, M.Ş. ve Bayarı, C.S., 2005. Environmental impact of geothermal fluids on surface water, groundwater and streambed sediments in the Akarçay Basin, Turkey, *Environmental Geology,* **47,** 325-340.

Downton, M.W, Stewart, T.R. ve Miller, K.A., 1988. Estimating historical heating and cooling needs: per capita degree days, *Journal of Applied Meteorology*, **27**, 84-90.

Durak, S. ve Küçük, O., 2000. Afyon Ömer-Gecek sahası test raporu, MTA Genel Müdürlüğü Raporu, (yayınlanmamış).

El-Shaarawi, M.A.I. ve Al-Masri, N., 1996. Weather data and heating degree days for Saudi Arabia, *Energy,* **21,** 39-44.

Ercan, A., 2000. Türkiye'de kızgın yer enerjisi (jeotermal) ve su akım alanlarının kökeni, *Yerel Yönetimlerde Jeotermal Enerji ve Jeoteknik Uygulamalar Sempozyumu,* Ankara, s. 39-59.

Erişen, B., 1976. Afyon bölgesi Ömer-Gecek jeotermal alanında yapılan AF-1 ve AF-3 sondajlarına ilişkin kuyu bitirme raporu, MTA Der. Rap. No:5623, 96s., (yayınlanmamış).

Erişen, B., Akbaşlı, A. ve Özçelik, Ş., 1984. Ömer-Gecek jeotermal alanında yapılan AF-7 ve AF-8 sondajlarının kuyu bitirme raporu, MTA Rapor No:8267, (yayınlanmamış).

Fournier, R.O., 1977. Chemical geothermometers and mixing models for geothermal systems, *Geothermics,* **5,** 41-50.

Fournier, R.O. ve Potter, R.W. II, 1979. Magnesium correction to the Na-K-Ca chemical geothermometer, *Geochim Cosmochim Acta,* **43,** 1543-1550.

Fournier, R.O. ve Potter, R.W. II, 1982. A revised and expanded silica (quartz) geothermometer, *Geotherm Resourc Counc Bull,* **11(10),** 3-12.

Francalanci, L., Innocenti, F., Manetti, P. ve Savasçın, M.Y., 2000. Neogene alkaline volcanism of the Afyon-Isparta area, Turkey: petrogenesis and geodynamic implications, *Mineralogy and Petrology*, **70**, 285-312.

Fytikas, M., Innocenti, F., Manetti, P., Mazzuoli, R., Peccerillo, A. ve Villari, L., 1984. Tertiary to Quaternary evolution of volcanism in the Aegean region, *Geol Soc Lond*, **17**, 687-699.

Gemici, Ü. ve Tarcan, G., 2004. Hydrogeochemical features of the Heybeli Spa, Afyon, Turkey:Arsenic and the other contaminants in the thermal waters, *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology,* **72,** 1107-1114.

Giggenbach, W.F, 1988. Geothermal solute equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca geoindicators, *Geochim Cosmochim Acta,* **52,** 2749-2765.

Guttman, N.B., 1983. Variability of population-weighted seasonal heating degree days, *Journal of Climate and Applied Meteorology*, **22**, 495-501.

Gülferi, İ., 1966. Meteorolojik değerler yardımıyla kış için dış hesap sıcklığının bulunmasında kullanılacak yeni bir istatistiki metot ve Türkiye'ye tatbiki, *Doktora Tezi,* İ.T.Ü., İstanbul.

Gülferi, İ., 1979. Kış için dış hesap sıcaklığının seçilmesi, *II. Ulusal Isı Kongresi,* s. 57-72.

Gültekin, M. L., 1995. Türkiye'de derece-günlerin dağılımı, *Yüksek Lisans Tezi,* İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Gültekin, M. L., 2001. Türkiye'de derece-günler modellemesi ve analizleri, *Doktora Tezi,* İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Gültekin, M.L. ve Kadıoğlu, M., 1996. Marmara Bölgesi'nde ısıtma ve soğutma derece-günlerin dağılımı, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, **4**, 33-41.

Gültekin, M.L. ve Kadıoğlu, M., 2002. İklim değişiminin yapıların ısıtma ihtiyacı ve yakıt tüketimine etkisi, *IV. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu,* İTÜ, İstanbul, 16-18 Ekim, s. 309-317.

Güner, A., 2004. Afyon (Ömer-Gecek) sıcak su sondajları kuyu bitirme raporu, (hazırlanmakta), (yayınlanmamış).

Hart, M. ve de Dear, R., 2004. Weather sensitivity in household appliance energy end-use, *Energy and Building*, **36**, 161-174.

Houghton, D.D., 1985. *Handbooks of Applied Meteorology*, John Wiley and Sons, New York, 1461 p.

Hurrell, J.W., 1995. Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: regional temperatures and precipitation, *Science*, **269**, 676-679.

Iman, R. L. ve Conover, W.J., 1983. *A Modern Approach to Statistics*, John Wiley and Sons, New York, 497 p.

Kadıoğlu, M., Şen, Z. ve Gültekin, L., 1999. Spatial heating monthly degree-day features and climatologic patterns in Turkey, *Theoretical and Applied Climatology*, **64**, 263-269.

Karaca, M., Anteplioğlu, Ü. ve Karsan, H., 1995. Detection of urban heat island in İstanbul, *Il Nuovo Cimento*, **C 18**, 49-55.

Keller, J. ve Villari, L., 1972. Rhyolitic ignimbrites in the region of Afyon (Central Anatolia), *Bull. Volcanol.*, **XXXVI (2),** 342-358.

Kuehn, T.H., Ramsey, J.W. ve Threlkeld, J.L., 1998. *Thermal Environmental Engineering*, Prentice Hall, New Jersey, 740 p.

Kutiel, H. ve Benaroch, Y., 2002. North Sea – Caspian Pattern (NCP) – an upper level atmospheric teleconnection affecting the Eastern Mediterranean: Identification and definition, *Theoretical and Applied Climatology*, **71**, 17-28.

Kutiel, H., Maheras, P., Türkeş, M. ve Paz, S., 2002. North Sea – Caspian Pattern (NCP) – an upper level teleconnection affecting the eastern Mediterranean - implications on the regional climate, *Theoretical and Applied Climatology*, **72**, 173-192.

Kutiel, H. ve Türkeş, M., 2005. New evidences for the role of the North Sea – Caspean Pattern on the temperature and precipitation regimes in continental central Turkey, *Geografiska Annaler*, **87 A(4),** 501-513.

Metin, S., Genç, İ. ve Bulut, V., 1987. Afyon ve dolayının jeolojisi, MTA Rapor No:8103, (yayınlanmamış).

Mirasgedis, S., Sarafidis, Y., Georgopoulou, E., Lalas, D.P., Moschovits, M., Karagiannis, F. ve Papakonstantinou, D., 2006. Models for mid-term electricity demand forecasting incorporating weather influences, *Energy*, **31**, 208-227.

Mitchell, J.M., Jr., Dzerdeevskii, B., Flahn, H., Hofmeyr, W.L., Lamb, H.H., Rao, K.N. ve Wallen, C.C., 1966. *Climatic Change*. WMO Technical Note 79, World Meteorological Organization, Geneva, 79 pp.

Moral-Carcedo, J. **ve Vicéns-Otero, J.,** 2005. Modelling the non-linear response of Spanish electricity demand to temperature variations, *Energy Economics,* **27**, 477-494.

Mutlu, H., 1998. Chemical geothermometry and fluid-mineral equilibria for the Ömer-Gecek thermal waters, Afyon area, Turkey, *Journal of Volcanology and Geothermal Research,* **80**, 303-321.

Mutlu, H. ve Güleç, N., 1998. Hydrogeochemical outline of thermal waters and geothermometry applications in Anatolia (Turkey), *Journal of Volcanology and Geothermal Research,* **85**, 495-515.

Öktü, G., Kara, İ. ve Önder, İ., 1997. Afyon ilinde yeralan Ömer-Gecek-Uyuz Hamamı Alaplı-Kızık Hamamı ve Gazlıgöl jeotermal sahalarının detay etüdü, MTA Rapor No:10027, 41s., (yayınlanmamış).

Ölmez, E., 2000. Jeotermal enerjinin aranmasında jeolojik ve tektonik çalışmalar, *Yerel Yönetimlerde Jeotermal Enerji ve Jeoteknik Uygulamalar Sempozyumu,* Ankara, s. 93-100.

Özşakacı, E., 2006. Kişisel görüşme.

Pardo, A., Meneu, V. ve Valor, E., 2002. Temperature and seasonality influences on Spanish electricity load, *Energy Economics*, **24**, 55-70.

Sabah, E. ve Çelik, M.Y., 1999. Afyon jeotermal ısıtma sistemi, ekonomisi ve hava kirliliğini önlemedeki katkısı, *Madencilik,* **38-2,** 3-14.

Sailor, D.J., 2006. Kişisel görüşme.

Sailor, D.J. ve Vasireddy, C., 2006. Correcting aggregate energy consumption data to account for variability in local weather, *Environmental Modelling &Software,* **21,** 733-738.

Sarak, H. ve Satman, A., 2003. The degree-day method to estimate the residential heating natural gas consumption Turkey: a case study, *Energy,* **28,** 929-939.

Satman, A. ve Yalçınkaya, N., 1999. Heating and cooling degree-hours for Turkey, *Energy,* **24,** 833-840.

Şener, A. C., 2006. Kişisel görüşme.

Şener, A.C., Yeletayşı, S. ve Toksoy, M., 2005. Jeotermal bölge ısıtma sistemlerinde ısı yükü tahmini, *VII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi,* Kültürpark İzmir Fuar Alanı, İzmir, 23-26 Kasım, s. 275-285.

Sneyers, R., 1990. *On the Statistical Analysis of Series of Observations*, WMO Technical Note 143, World Meteorological Organization, Geneva, 192 p.

Tamgaç, Ö.F., Güner, A., Sarp, S., Yıldırım, N., Durak, S., Küçük, O. ve Koçak, A., 2000. Afyon Ömer-Gecek jeotermal sahasının koruma alanları, test ve potansiyel değerlendirme raporu, MTA Rapor No:10388, 66s., (yayınlanmamış).

Tarcan, G., Gemici, Ü. ve Aksoy, N., 2005. Hydrogeological and geochemical assessments of the Gediz Graben geothermal areas, western Anatolia, Turkey, *Environmental Geology,* **47,** 523-534.

Tayanç, M., Dalfes, H.N., Karaca, M. ve Yenigün, O., 1998. A comparative assessment of different methods for detecting inhomogeneities in Turkish temperature data set, *International Journal of Climatology*, **18**, 561-578.

Tezcan, L., Meriç, B.T.. Doğdu, N., Akan, B., Atilla, A.Ö., ve Kurttaş, T., 2002. Akarçay Havzası hidrojeolojisi ve yeraltısuyu akım modeli, Hacettepe Üniversitesi – Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi (UKAM) – Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü Final Raporu, 339s., (yayınlanmamış).

Thom, H.C.S., 1952. Seasonal degree-day statistics for the United States, *Monthly Weather Review*, **80-9**, 143-147.

Thom, H.C.S., 1954. Normal degree-days below any base, *Monthly Weather Review*, **82-5**, 111-115.

Thom, H.C.S., 1954b. The rational relationship between heating degree days and temperature, *Monthly Weather Review*, **82-1**, 1-6.

Türkeş, M., Sümer, U.M. ve Demir, İ., 2002. Re-evaluation of trends and changes in mean, maximum and minimum temperatures of Turkey for the period 1929-1999, *International Journal of Climatology*, **22**, 947-977.

TS-2164, 1984. Kalorifer tesisatı projelendirme kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü,* Ankara.

Ünal, Y., Kındap, T. ve Karaca, M., 2003. Redefining the climate zones of Turkey using Cluster Analysis, *International Journal of Climatology*, **23**, 1045-1055.

Valdimarsson, P., 1993. Modelling of geothermal district heating systems, *Doktora Tezi,* University of Iceland, Iceland, 315 pp.

VDI 2067, Blatt 1, 1983. Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen, Betriebstechnische und Wirtschaftliche Grundlagen, *Beuth Verlag,* Berlin.

van Loon, H. ve Williams, J., 1976. The connection between trends of mean temperature and circulation at the Surface: Part I. Winter, *Monthly Weather Review*, **104,** 365-380.

Yalçın, H, 1990. Neojen yaşlı Kırka (Eskişehir) volkanosedimanter gölsel basenin stratigrafik ve tektonik özellikleri, *Bull Fac Engin Cum Univ, Earth Sci*, **6-7**, 165-180.

Yıldırım, N., 2002. District heating system modelling for Iztech campus, Turkey, United Nations University, Reykjavik, Iceland, Number:18, p.359-393.

ÖZGEÇMİŞ

Çalışmayı hazırlayan 1979 yılında İzmit'de doğdu. İlkokulu Kocaeli Cumhuriyet İlkokulu, ortaokulu Kocaeli Derince Lisesi orta bölümünde, liseyi de Ankara Anadolu Meteoroloji Meslek Lisesinde tamamladı. 2005 yılında İTÜ Maden Fakültesi Jeoloji Mühendisliği bölümü bitirdi. 2005 Şubat ayında İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Uygulamalı Jeoloji Yüksek Lisans programına başladı. 1996 yılından bu yana DMİ'de teknik personel olarak çalışmaktadır.