İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BUHARLAŞMA VE SÜBLİMLEŞME YOLUYLA GERÇEKLEŞEN KÜTLE KAYIPLARININ METEOROLOJİK DEĞİŞKENLERLE OLAN İLİŞKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet AFİF

Meteoroloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Atmosfer Bilimleri Yüksek Lisans Programı

OCAK 2012

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BUHARLAŞMA VE SÜBLİMLEŞME YOLUYLA GERÇEKLEŞEN KÜTLE KAYIPLARININ METEOROLOJİK DEĞİŞKENLERLE OLAN İLİŞKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet AFİF

(511091010)

Meteoroloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Atmosfer Bilimleri Yüksek Lisans Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Kasım KOÇAK

OCAK 2012

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün ..... numaralı Yüksek Lisans / Doktora Öğrencisi ....., ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı " ...." başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	**Prof. Dr. Kasım KOÇAK** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Prof. Dr. Levent Şaylan** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
	Doc. Dr. Ahmet SİRKECİOĞLU İstanbul Teknik Üniversitesi	.....

Teslim Tarihi : **19 Aralık 2011**
Savunma Tarihi : **25 Ocak 2012**

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmam süresince büyük özveri göstererek gerek bilgisiyle, gerek bireysel desteğiyle her zaman yanımda olan Prof. Dr. Kasım Koçak'a içten teşekkürlerimi sunarım.

İstanbul Teknik Üniversitesi Meteoroloji Parkı'nda ölçümlerimi yapabilmem için bana imkân tanıyan ve ölçümlerim boyunca desteğini esirgemeyen Prof. Dr. Levent Şaylan'a, düzenli bir şekilde otomatik istasyon verilerini almamda yardımcı olan Arş. Grv. Dr. Barış Çaldağ'a teşekkürü bir borç bilirim.

Yoğun arazi ölçümlerim boyunca bazen varlıklarıyla bazen de teknik yardımlarıyla yanımda olan arkadaşlarım Mert Uluyazı'ya, Nihal Aktaş'a, Emre İçen'e, Emrah Uzun'a minnettarım.

Ellerinden gelen her türlü maddi ve manevi desteği sonsuz bir inançla ve inatla göstermiş, sevgilerini hiçbir zaman esirgememiş olan canım aileme her zaman minnettar kalacağım.

OCAK 2012

Mehmet Afif
(Meteoroloji Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....v
İÇİNDEKİLER.....vii
KISALTMALAR.....ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....xi
ŞEKİL LİSTESİ.....xiii
SEMBOL LİSTESİ.....xv
ÖZET.....xvii
SUMMARY.....xix
1. GİRİŞ.....1
Çalışmanın Amacı ve Önemi.....1
2. BUHARLAŞMA.....3
2.1 Buharlaşmanın Mekanizması.....3
2.2 Buharlaşmayı Etkileyen Faktörler.....4
2.3 Buharlaşma Ölçümleri.....5
2.3.1 Evaporasyon ölçümleri.....6
2.3.1.1 Serbest su yüzeylerinden olan buharlaşmanın hesaplanması.....7
2.3.2 Evapotranspirasyon ölçümleri.....11
2.4 Buharlaşma Ölçümlerinde Karşılaşılan Problemler.....13
2.4.1. Atmometrelerdeki hata kaynakları.....13
2.4.2. Buharlaşma havuzu ve tanklardaki hata kaynakları.....14
2.4.3. Lizimetrelerdeki hata kaynakları.....14
3. SÜBLİMLEŞME.....17
3.1 Süblimleşme Tanımı ve Mekanizması.....17
3.2 Süblimleşebilen Maddeler.....18
3.3 Süblimleşmenin Ölçülmesi.....19
3.3.1 Ortalama ölçüm yöntemi.....19
3.3.2 Yerel ölçüm yöntemi.....19
3.4 Naftalin Süblimleşmesi ile İlgili Yapılmış Çalışmalar.....19
4. BUHARLAŞMA İLE SÜBLİMLEŞME ARASINDAKİ İLİŞKİNİN DENEYSEL OLARAK BELİRLENMESİ.....21
4.1 Atmosferik Değişkenlerin Rolü.....21
4.2 İlişkinin Belirlenmesinde Kullanılan İstatistiksel Yöntem.....23
4.2.1. Regresyon analizi.....23
4.2.1.1. Basit doğrusal regresyon.....23
4.2.1.2. Çok değişkenli doğrusal regresyon.....26
4.2.1.3. Doğrusal olmayan regresyon.....28
5. ÖLÇÜMLERİN YAPILMASI VE DEĞERLENDİRİLMESİ.....29
5.1 Ölçüm Alanı ve Periyodu.....29
5.2 Deney Düzeneği.....30
5.3 Ölçümlerde Karşılaşılan Problemler.....34
5.4 Analiz Sonuçları.....35

6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....41
KAYNAKLAR.....43
EKLER.....45
ÖZGEÇMİŞ.....57

KISALTMALAR

Naft. : Naftalin Süblimleşmesi (gr)
Ment. : Mentol Süblimleşmesi (gr)
Kaf. : Kafur Süblimleşmesi (gr)
Buh. : Serbest Su Yüzeyinden Olan Buharlaşma (mm)
Ort Sck. : Ortalama Sıcaklık (^{o}C)
Ort Bağ N. : Ortalama Bağıl Nem (%)
Ort Rüz H. : Ortalama Rüzgar Hızı (m/s)
Top Glob Rad. : Toplam Güneş Radyasyonu (W/m^2)

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Naftalin, kafur ve mentol maddelerinin kimyasal özellikleri.....18
Çizelge 5.1 : Süblimleşme kaplarının değişim tarihleri.....29
Çizelge 5.2 : 8 Haziran 2011 - 17 Temmuz 2011 arasındaki veriler için yapılan basit ve çoklu doğrusal regresyon analizi sonuçları.....37
Çizelge B1 : 10:00-20:00 saatleri arasındaki naftalin, buharlaşma ve atmosferik değişkenlere ait ölçüm değerleri.....53
Çizelge B2 : Analizde kullanılan 10:00-20:00 saatleri arasındaki mentol ölçüm değerleri.....55
Çizelge B3 : Analizde kullanılan 10:00-20:00 saatleri arasındaki kafur ölçüm değerleri.....55

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Bellani, Wild, ve Piche tipi atmometreler….....6
Şekil 2.2 : Sunken Colorado ve Class A Pan buharlaşma havuzlarının boyutları….....7
Şekil 2.3 : Serbest su yüzeyinde ve toprak üzerinde kullanılan pan evaporimetreler...7
Şekil 2.4 : Lizimetre….....12
Şekil 2.5 : Lizimetrenin şematik görüntüsü….....12
Şekil 3.1 : Faz değişimi diyagramı….....17
Şekil 4.1 : Regresyon doğrusu örnek çizimi….....25
Şekil 4.2 : Bağımsız değişken sayısına göre regresyon denklemlerinin determinasyon katsayısındaki artış….....27
Şekil 5.1 : Hookgauge ve stillwell aletleri ….....30
Şekil 5.2 : Ölçüm düzenekleri ve buharlaşma havuzunun arazideki konumu….....31
Şekil 5.3 : Süblimleşme ölçüm kabının yakından görünüşü….....31
Şekil 5.4 : Precisa XB 220A modeli analitik hassas terazi….....32
Şekil 5.5 : Ölçüm düzeneğinin şematik görünüşü ….....33
Şekil 5.6 : Ölçüm düzeneğinin yakın görünüşü ….....33
Şekil 5.7 : Ölçüm düzeneği ve havuzun meteoroloji istasyonundaki konumu….....34
Şekil 5.8 : 2 Haziran 2011 - 2 Eylül 2011 tarihleri arasındaki buharlaşma ve naftalin süblimleşmesine ait saçılma diyagramı….....36
Şekil 5.9 : 2 Haziran 2011 - 2 Eylül 2011 tarihleri arasındaki normalleştirilmiş buharlaşma ve naftalin süblimleşmesi değerler….....36
Şekil 5.10 : 8 Haziran 2011 - 17 Temmuz 2011 tarihleri arasındaki normalleştirilmiş buharlaşma ve naftalin süblimleşmesi değerleri….....38
Şekil 5.11 : 8 Haziran 2011 - 17 Temmuz 2011 tarihleri arasındaki buharlaşma ve naftalin süblimleşmesine ait saçılma diyagramı….....38
Şekil 5.12 : 17 Temmuz 2011 - 30 Ağustos 2011 tarihleri arasındaki buharlaşma ve kafur süblimleşmesine ait saçılma diyagramı….....39
Şekil 5.13 : 17 Temmuz 2011 - 30 Ağustos 2011 tarihleri arasındaki normalleştirilmiş buharlaşma ve kafur süblimleşmesi değerleri….....39
Şekil 5.14 : 9 Haziran 2011 - 1 Temmuz 2011 tarihleri arasındaki buharlaşma mentol süblimleşmesine ait saçılma diyagramı….....40
Şekil 5.15 : 9 Haziran 2011 - 1 Temmuz 2011 tarihleri arasındaki normalleştirilmiş buharlaşma ve mentol süblimleşmesi değerleri….....40

SEMBOL LİSTESİ

$\boldsymbol{E}$**:** Serbest su yüzeylerinden olan buharlaşma (m^3/sn)
$\boldsymbol{I}$**:** Su kütlesine giren akım (m^3/sn)
$\boldsymbol{O}$**:** Su kütlesinden çıkan akım (m^3/sn)
$\Delta\boldsymbol{S_s}$**:** Su seviyesindeki değişim miktarı (m^3/sn)
$\boldsymbol{E_s}$**:** Su kütlesinden olan buharlaşma (m^3/sn)
$\boldsymbol{P}$**:** Yağış miktarı (m^3/sn)
$\boldsymbol{R_1}$**:** Yüzey akışından su kütlesine giren miktar (m^3/sn)
$\boldsymbol{R_2}$**:** Yüzey akışlarından dolayı su kütlesinden çıkan miktar (m^3/sn)
$\boldsymbol{R_g}$**:** Yer altı suyu içsel akışı (m^3/sn)
$\boldsymbol{T_s}$**:** Transpirasyon kayıpları (m^3/sn)
$\boldsymbol{F}$**:** Sızma kayıpları (m^3/sn)
$\boldsymbol{Q_0}$**:** Su kütlesinde depolanan enerji (W/m^2)
$\boldsymbol{Q_s}$**:** Su yüzeyindeki solar radyasyon (W/m^2)
$\boldsymbol{Q_r}$**:** Yansıyan solar radyasyon (W/m^2)
$\boldsymbol{Q_a}$**:** Atmosferden gelen uzun dalga boylu radyasyon (W/m^2)
$\boldsymbol{Q_{ar}}$**:** Yansıyan uzun dalga boylu radyasyon (W/m^2)
$\boldsymbol{Q_{bs}}$**:** Suyun yaydığı uzun dalga boylu radyasyon (W/m^2)
$\boldsymbol{Q_v}$**:** Giren ve çıkan sudan olan net enerji katkısı (W/m^2)
$\boldsymbol{Q_e}$**:** Buharlaşmada kullanılan enerji (W/m^2)
$\boldsymbol{Q_h}$**:** Su kütlesinden hissedilebilir ısı olarak iletilen enerji (W/m^2)
$\boldsymbol{Q_w}$**:** Buharlaşan suyla taşınan enerjidir (W/m^2)
$\boldsymbol{\rho}$**:** Buharlaşan suyun kütle yoğunluğu (kg/m^3)
L: Suyun buharlaşma gizli ısısı (Kal)
$\boldsymbol{B}$**:** Bowen oranı
$\boldsymbol{C_p}$**:** Suyun özgül ısısı (Kal/g ^oC)
$\boldsymbol{T_e}$**:** Buharlaşan suyun sıcaklığı (^oC)
$\boldsymbol{T_b}$**:** Referans olarak seçilen bir noktanın sıcaklığı (genellikle 0 ^oC olarak alınır).
$\boldsymbol{T_0}$**:** Su yüzeyinin sıcaklığı(^oC)
$\boldsymbol{T_a}$**:** Hava sıcaklığı (^oC),
$\boldsymbol{e_0}$**:** Su yüzeyinin doymuş buhar basıncı (mm/Hg)
$\boldsymbol{e_a}$**:** Havanın buhar basıncı (mb)
$\boldsymbol{e_{aa}}$**:** Belirlenen bir a yüksekliğinde havanın aktüel buhar basıncı (cm/Hg)
$\boldsymbol{e_2}$**:** 2 metre yükseklikte havanın aktüel buhar basıncını (cm/Hg)
$\boldsymbol{e_8}$**:** 8 metre yükseklikte havanın aktüel buhar basıncını (cm/Hg)
$\boldsymbol{e_d}$**:** Havanın aktüel buhar basıncı (mm/Hg)
$\boldsymbol{k}$**:** Rüzgar hızı, atmosferik basınç ve buharlaşmayla ilgili faktörlere bağlı sabit
$\boldsymbol{R_n}$**:** Net radyasyon (Mj/m^2)
Δ**:** Herhangi bir Q_a sıcaklığındaki doymuş buhar basıncı eğrisinin eğimi
$\boldsymbol{\gamma}$**:** Kuru ve ıslak termometre eşitliği sabiti
$\boldsymbol{S_0}$**:** Dünya dışı güneş ışınımı (MJ/m^2 gün)
$\boldsymbol{\sigma}$**:** Stefan Boltzmann sabiti
$\boldsymbol{RH}$**:** Bağıl nem (%)

***T*:** Ortalama hava sıcaklığı (^oC)
V: Rüzgar hızı (m/s)
GR: *G*lobal radyasyon(W/m^2)
r_{xy}: Korelasyon katsayısı
n: Örnekleme sayısı
m: Bağımsız değişken sayısı
a,b: Regresyon katsayıları
S_{ey}^2: Hata varyansı
e_{yi}: Regresyon eğrisinin gözlem noktalarına olan uzaklıkları
F: F istatistiği değeri
t: t istatistiği değeri

BUHARLAŞMA VE SÜBLİMLEŞME YOLUYLA GERÇEKLEŞEN KÜTLE KAYIPLARININ METEOROLOJİK DEĞİŞKENLERLE OLAN İLİŞKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Küresel iklim değişikliğine bağlı olarak gerçekleşen hava sıcaklıklarındaki artış kullanılabilir su kaynaklarının hızla azalmasına neden olmaktadır. Serbest su yüzeylerinden olan buharlaşma sonucunda önemli miktarda su kayıpları gerçekleşmektedir. Bu kayıplarının doğru bir şekilde ölçülebilmesi ülkelerin sürdürülebilir su politikaları hazırlayabilmelerinde büyük önem arz eder.

Günümüzde serbest su yüzeylerinden olan buharlaşmanın belirlenmesinde literatürdeki hesaplama yöntemleri ve ölçüm sistemleri arasında en doğru sonuçlara buharlaşma havuzları ile ulaşılmaktadır. Fakat bu sistem yapısal özellikleri dolayısıyla birçok yerde kullanılamamaktadır. Bu durum yeni bir ölçüm sisteminin gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Yapılan çalışmada, süblimleşebilen maddelerle bazı atmosferik değişkenlerin (sıcaklık, bağıl nem, rüzgâr hızı, güneş radyasyonu) buharlaşmayı açıklamadaki rolleri araştırılmıştır. Bu amaçla İstanbul Teknik Üniversitesi Meteoroloji Gözlem Parkı'nda 2011 yılı Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında süblimleşme ve buharlaşma ölçümleri yapılmıştır. Sıcaklık, bağıl nem, rüzgâr hızı, güneş radyasyonu değerleri yine meteoroloji parkındaki otomatik istasyondan elde edilmiştir. Süblimleşme ölçümleri için naftalin, kâfur ve mentol maddeleri kullanılmıştır.

Buharlaşma ölçümleri Class A Pan tipinde buharlaşma havuzundan yapılmıştır. Süblimleşme ölçümlerinde kullanılacak maddeler küçük silindirik kaplara dökülmüştür. Böylelikle madde kabın şeklini almış ve süblimleşme sadece yüzeyden gerçekleşmiştir. Sonrasında kabı buharlaşma havuzunun yüzeyiyle yakın yükseklikte tutacak bir düzenek hazırlanmıştır.

Ölçüm süresi boyunca yapılan naftalin süblimleşmesi ölçümlerine aralıksız devam edilmiştir. Mentol maddesiyle yapılan ölçümlere maddenin sıcak aylarda erimeye başlaması dolayısıyla son verilmiştir. Sonra mentol yerine kâfur maddesi ile ölçümlere başlanmıştır. Kâfur maddesi ile ölçümler genel ölçümlerin bitiş tarihine kadar yapılmıştır.

Değişkenler arasındaki ilişkiyi belirlemede regresyon analizi yöntemi kullanılmıştır. Buharlaşma ile naftalin süblimleşmesi verileri arasında yapılan analiz sonucunda determinasyon katsayısı $r^2 = 0.778$ olarak hesaplanmıştır. Bu da buharlaşma ile naftalin süblimleşmesi arasında güçlü doğrusal bir ilişki olduğunu göstermiştir. Atmosferik değişkenlerin de analize katılmasıyla determinasyon katsayısı artmıştır. Buradan buharlaşmanın naftalin süblimleşmesiyle birlikte sıcaklık, bağıl nem, rüzgâr hızı ve güneş radyasyonu gibi atmosferik değişkenlerle açıklanabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Çalışmada kâfur ve mentol verileri için yapılan analizler sonucunda determinasyon katsayıları sırayla $r^2 = 0.184$ ve $r^2 = 0.148$ olarak bulunmuştur. Buradan kâfur ve mentolün buharlaşmayı açıklamada yeterli olmadıkları sonucuna ulaşılmıştır. Buna rağmen ölçümlerle ilgili sorunlar giderildikten sonra kâfur maddesin buharlaşmayı açıklamada daha yüksek koralasyon değerlerine ulaşması beklenmektedir. Mentol maddesinin ise, soğuk aylarda yapılacak ölçümler için daha ideal olduğu görülmüştür.

INVESTIGATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN ATMOSPHERICAL VARIABLES AND MASS LOSS BY EVAPORATION AND SUBLIMATON

SUMMARY

Major part of the Earth Surface is covered with water. Although there are large amount of water on the earth, very small part of earth water supplies are available for human use. Increase in air temperature depending on global climate change resulted in the reduction of available water resources. As a result of the evaporation on free water surface, significant amount of water loss occurs. Accurate measurement of these losses is crucial for countries to manage their sustainable water policies.

Evaporation occurs from liquid surfaces. It is a phase transition from liquid to gas. In nature, evaporation generally happens from free water surfaces, soil and plant surfaces. When evaporation occurs on soil and plant surfaces, it takes the name of evapotranspiration. Heat is essential for evaporation. Heat increases the molecular kinetic energy thus surface tension decreases and molecule escapes from the surface accelerate. Additionally when air is saturated, water contend of air is the top of limit. Evaporation in this condition stops. Also vapour pressure deficit is important for evaporation. Vapour pressure deficit states difference between surface vapour pressure and air vapour pressure. If surface vapour pressure is bigger than air vapour pressure, vapour pressure deficit increase and evaporation accelerate. There are some other factors effecting evaporation such as, heating, wind speed, shape of evaporation surface, surface albedo, depth ect. Evaporation is generally measured from evaporation pans. Evaporation pan is an kind of cylindrical container that is filled with water and difference of water level is measured in a time interval. Alternately atmometers are also used to measure evaporation. An atmometer is a meteorological instrument which measure water loss from moist and porous surface. By the way lysimeters are mostly used to measure evapotranspiration. Lysimeter is a kind of tank which settles in underground and filled with soil correspond to horizons of ground and planted vegetations around it. Then water budged components take into account for calculating evapotranspiration.

Today, more accurate evaporation measurements can be obtained by the evaporation pans than other calculation methods and measurements systems in the literature. Change of water level is measured from evaporation pans. Thus evaporation loss can be determined in a period of time. However evaporation pans are useless in frost seasons. By reason of water in evaporation pans freeze, they are removed in frost seasons. Also some structural features of this system limit its usage in many environments. This situation requires the need for a new measurement system.

Sublimation is a thermodynamic process. As a result of sublimation, substances in solid phase turn into gas phase without passing through liquid phase. Also mass transfer occurs from solid matter's surface. Mass transfer of a sublimable matter can be measured by two different ways. First way is weighing the sample of mass in a

period of time. Second way is measuring the sublimation depth of sublimable matter via special deep measurement systems. In this system, change of surface elevation between two measurements is determined. These measurement systems are mostly used in heat transfer experiments to estimate local and average transfer coefficients.

Mechanism of sublimation and evaporation seems like each other. Mass transfer from sublimation surfaces and evaporation surfaces to atmosphere exists in either thermodynamic process. Hereby, these thermodynamic processes can be associated with each other via mass transfer laws.

In this study, the roles of some sublimable matters (naphthalene, camphor and menthol) and atmospheric variables (temperature, relative humidity, wind speed, solar radiation) explaining the evaporation were investigated. For this purpose, sublimation and evaporation measurements were performed at Meteorological Station of Istanbul Technical University in June, July and August in 2011. Temperature, relative humidity, wind speed, solar radiation values were obtained from automated weather observing system (AWOS) at the meteorological station. Naphthalene, camphor and menthol substances were used for sublimation measurements. Evaporation measurements were made with Class A Evaporation Pan. Hook-gauge and Stillwell instruments were used to measure evaporation sensitively. Substances used in the measurement of sublimation were filled in small cylindrical containers. Thus, sublimable material took the shape of the container and sublimation only occurred from the substance's surface. As naphthalene and menthol substances could be melted in low temperature, camphor couldn't be melted because of its chemical properties. Camphor were solved in aseton and filled to containers for this reason. Then, a measurement system was designed to keep container's height close to the evaporation pan's surface.

Naphthalene measurements were continued uninterrupted during the period of measurements. Decreasing naphthalene containers were changed 3 times with new ones in the course of the measurement time. Due to melting of menthol substance in the warmer months, menthol measurements were terminated. Then, it was replaced by camphor container. Camphor measurements were made until the last date of the general measurements and containers were changed 2 times.

Before the statistical analysis measurement data were arranged. First of all data which was measured in rainy days were removed. Mass of sublimation containers expect to decrease from one measurement to another. When mass of sublimation containers were weighed in rainy days, measured value was bigger than previous measurement value. Then, average values of temperature, relative humidity and wind speed were calculated between 10:00 - 20:00 time interval and total values of global radiation, naphthalene sublimation and evaporation were calculated at same time interval.

Regression analysis method was used to determine the relationship between the variables. Evaporation is selected as depended variable in calculations and other variables (naphthalene sublimation, temperature, relative humidity, wind speed, global radiation) used for explaining evaporation. Firstly analysis was made between evaporation and naphthalene sublimation data. Then calculations were made that increasing the number of independent variables one by one. In final, all independent variables were added to calculations. As a result of the analysis, coefficient of determination between evaporation and naphthalene sublimation was found r^2 = 0.778. This shows a strong linear relationship between naphthalene sublimation and

evaporation. Coefficient of determination increased after adding atmospheric variables to the analysis. In final, coefficient of determination rose to 0.882. This shows the evaporation can be explained via naphthalene sublimation and atmospheric variables such as temperature, relative humidity, wind speed and global radiation.

As a result of the regression analysis, naphthalene and global radiation seemed to be better group to explain evaporation than other variables. Also the group of naphthalene and temperature in analyses made less contribution to explain evaporation than other variables.

Water vapour rate in air is bigger than naphthalene vapour rate in air. In theoretical meaning atmospheric variables except relative humidity of air are expected to have the same effect on naphthalene sublimation and evaporation. Then, sublimation and relative humidity must be the best variables together in order to explain evaporation. As a result of the regression analysis with evaporation, naphthalene sublimation and relative humidity data, coefficient of determination was found $r^2 = 0.786$. This result showed naphthalene sublimation and relative humidity are not the best group in order to explain evaporation.

During the period of measurements, naphthalene containers were replaced with new containers 3 times. After changing containers, deviations were seemed on the new data measured from naphthalene containers. Changing the containers affected analysis results in the other words. Regression analysis being done with whole data measured from start to end shows an average relationship between naphthalene sublimation and evaporation. On the contrary, a strong relationship was found as a result of analysis being done with measured data which was measured until removal date of first naphthalene container. Best solution is using identical and bigger size containers here. That can solve the problems from different sublimation surface. Also this solution can help to overcome sublimation problems that occur from melting substances at different times.

In the course of measurements some days were rainy. These rainy days caused to data loss. This problem can not be solved along measurements. Besides this issue can be overcome settling a glass on the sublimation container which has high transmission rate.

As a result of the analysis with camphor and menthol data coefficients of determination calculated as $r^2 = 0.184$ for camphor and $r^2 = 0.148$ for menthol. This shows, camphor and menthol are not sufficient for explaining the evaporation in this study. However, after the removal of issues related to the camphor measurements, is expected to reach a higher correlation value of evaporation. Besides, menthol measurements are not applicable for summer months and are expected to reach better results if measurements are made in cold months. Camphor and menthol are better alternative substances than naphthalene. Naphthalene has a lot of unhealthy effects on humans, and environment. Especially cancer risk can be seemed when high rate naphthalene vapour is exposed.

1. GİRİŞ

Dünya yüzeyinin % 70'i sularla çevrilidir. Herhangi bir anda suyun yerkürenin çeşitli kısımları arasındaki dağılımına bakarsak çok büyük bir kısmının (% 97.4) denizlerde ve kullanılabilir olmadığını görürüz. Kullanılabilir su kaynakları dünya yüzeyindeki suyun sadece % 2.6'lık bir kısmına denk gelmektedir. Kullanılabilir su kaynakları da % 77.23 kutup buzlarında, % 22.21 yeraltı suyu halinde, % 0.35 göllerde, % 0.037 zemin nemi halinde, % 0.04 atmosferde ve % 0.03 akarsulardadır. Dünya üzerindeki kullanılabilir su miktarının çok az bir kısmı (göl, nehir, havza, vs.) insanların doğrudan kullanımına elverişlidir.

Küresel iklim değişimiyle birlikte sıcaklıklardaki artışların buharlaşmayı arttırması nedeniyle su kayıplarında da artışlar beklenmektedir (IPCC, 2007). Bu durum kullanılabilir su kaynaklarının azalmasına neden olacaktır. Su kayıplarının doğru bir biçimde belirlenebilmesi ve ölçülebilmesi günümüzde ülkelerin kuraklık ile ilgili politikalarını belirlemelerinde büyük önem taşımaktadır. Su kayıplarının en önemli nedenlerinden biri de buharlaşmadır. Günümüzde serbest su yüzeylerinden olan buharlaşma kayıplarının belirlenmesinde, halen daha sorunlar tam anlamıyla giderilebilmiş değildir. Bu çalışmada su kayıplarının en önemli nedenlerinden olan buharlaşmayı belirlemede, naftalin, kafur veya mentol süblimleşmesinden yararlanılması ve rüzgâr, bağıl nem, güneş radyasyonu ve sıcaklık gibi meteorolojik değişkenlerin bu iki fiziksel olay arasındaki ilişkiyi belirlemedeki önemi araştırılmıştır.

1.1 Çalışmanın Amacı ve Önemi

Günümüzde serbest su yüzeylerinden olan buharlaşma ölçümlerinde buharlaşma havuzu ağırlıklı olarak kullanılmaktadır. Otomatik meteoroloji gözlem istasyonlarında dahi bu ölçümler genelde buharlaşma havuzu ile yapılmakta ve belli formüllerle serbest su yüzeyinden olan buharlaşmaya denk gelen değerler hesaplanmaktadır. Bu yöntem çoğunlukla tercih ediliyor olsa da, soğuk mevsimlerde suyun donması ölçümü imkânsızlaştırmakta ve genelde bu mevsimlerde buharlaşma

verileri ampirik formüllerden elde edilmektedir. Fakat ampirik formüller buharlaşma değerlerinin belirlenmesi açısından yeterince güvenilir sonuçlar vermemektedir (Rosenberry vd., 2007). Hidrometeorolojik açıdan büyük önem arz eden buharlaşma ölçümlerinin yapılmasında daha kullanışlı ve uygulanabilir yöntemlerin geliştirilmesi önem kazanmaktadır.

Suyun buharlaşması ve katı bir maddenin süblimleşmesi mekanizmaları temel olarak birbirine benzemektedir. Her iki durumda da atmosfere, madde yüzeyinden kütle kaybı gerçekleşmektir. Böylece bu iki olay kütle transferi yasalarından hareket edilerek birbiriyle ilişkilendirilebilir. Bu açıdan aynı atmosferik koşullarda bulunan buharlaşma havuzundan olan buharlaşma kayıpları ile naftalin yüzeyinden olan kütle kayıplarının ölçülmesi, aradaki ilişkinin önemli bir kısmını belirlemede gereklidir. Naftalin süblimleşmesi bugüne kadar birçok ısı transferi uygulamasında kullanılmıştır (Çelik ve Eren, 2002). Koçak ve Çaldağ (2009) naftalin süblimleşmesi sonucunda ölçülen kütle kayıplarının serbest su yüzeyinden olan buharlaşmayı 0.74'lük bir determinasyon katsayısı ile ifade edebildiğini saptamışlardır. Açıklanamayan kısım ile ilgili olarak da ölçüm hatalarına ve buharlaşmanın bağlı olduğu diğer değişkenlere dikkat çekmişlerdir. Bu tez çalışmasında amaç buharlaşmanın bağlı olduğu diğer değişkenlerin de dikkate alınarak serbest su yüzeyinden olan buharlaşma ölçümlerinde katı maddelerin süblimleşmesinden yararlanılmasıdır. Buharlaşma ve süblimleşme ölçümlerinin yanında sıcaklık, bağıl nem, rüzgâr hızı, güneş radyasyonu ve yağış gibi meteorolojik değişkenlerin de ölçümü yapılmıştır. Ölçümler buharlaşma oranının en yüksek olduğu Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında 2011 yılında gerçekleştirilmiş ve aradaki ilişkinin saptanmasında çoklu regresyon yöntemi kullanılmıştır.

2. BUHARLAŞMA

Herhangi bir sıvı yüzeyinden atmosfere olan gaz halindeki kütle taşınımı sürecine buharlaşma denir. Buharlaşma sonucunda okyanuslar üzerinden saniyede yaklaşık olarak 13 milyon m^3 su atmosfere transfer edilmektedir (Schmitt, 2008). Bu açıdan buharlaşma hidrolojik çevrimin en önemli elemanlarından biridir. Atmosferle yeryüzü arasındaki su dengesinin kurulmasında önemli bir rol oynamaktadır. Buharlaşma yeryüzünde çoğunlukla su, bitki ve toprak yüzeylerinden gerçekleşmektedir. Bitki ve toprak yüzeylerinden olan buharlaşma evapotranspirasyon olarak adlandırılır. Dünya yüzeyinden olan buharlaşma her an devam eder ve özellikle geniş yüzey alanına sahip sularda büyük oranda gerçekleşir.

2.1 Buharlaşmanın Mekanizması

Buharlaşmanın olabilmesi için ısı gereklidir. Isı enerjisi, su moleküllerinin enerjisinin artmasına ve yüzeyden moleküllerin kaçışına neden olur. Bu durumun tersi de gerçekleşebilir. O zaman da su yüzeyinden ayrılıp havaya karışan molekül, tekrar sıvı haline döner. Su yüzeyinde bu iki durum sıklıkla gerçekleşmektedir. İlk durumdaki havaya kaçışların daha fazla gerçekleşmesi halinde buharlaşma olur (Bayazıt, Avcı& Şen, 2001). Bunun yanında buharlaşmanın gerçekleşebilmesi için havanın neme doymamış olması, yani havanın bağıl neminin %100'den az olması gerekmektedir. Böylece hava doyma noktasına ulaşıncaya kadar buharlaşma gerçekleşmeye devam eder. Ayrıca buharlaşma mutlak sıfır sıcaklığına (-273^oC) kadar her sıcaklıkta gerçekleşir. Yani suyun donmuş olması buharlaşmanın olmayacağı anlamına gelmez. Diğer taraftan buharlaşma işlemi sonucunda su yüzeyinde ısı kaybı gerçekleşir. Bu durum su kütlesinin çevre sıcaklığına kadar soğumasını sağlar. Bu açıdan buharlaşmaya bir çeşit soğutma işlemi olarak bakılabilir.

2.2 Buharlaşmayı Etkileyen Faktörler

Buharlaşma, su yüzeyindeki doymuş buhar basıncı ve havanın buhar basıncı arasındaki fark ile orantılıdır. Bu kural Dalton yasası olarak adlandırılmaktadır (Bayazıt, 2001). Doymuş buhar basıncı sıcaklığın bir fonksiyonudur. Suyun sıcaklığı arttığı zaman, su molekülleri daha hızlı hareket etmeye başlar, yüzey gerilimi düşer ve yüzeydeki moleküller arası çekim kuvveti azalır. Dolayısıyla su yüzeyi üzerindeki doymuş havanın nem oranı artacak diğer bir ifadeyle su buharı basıncı yükselecektir. Tüm bu etkenler buharlaşmayı hızlandıracaktır. Bunun yanında atmosferik basınçtaki azalışlar (artış) da buhar basınç farkını artırır (azaltacağından) buharlaşmaya az da olsa artırıcı (azaltıcı) yönde etki eder.

Buharlaşmanın devam edebilmesi için buharlaşma yüzeyi üzerinde biriken su buharının uzaklaştırılması gerekmektedir. Su yüzeyi üzerinde buharlaşma devam ettikçe havanın buhar basıncı da artar ve ne zaman su yüzeyindeki buhar basıncı ile eşit duruma gelir, o zaman buharlaşma durur. Dolayısıyla su buharının yüzey üzerinden uzaklaştırılması gereklidir. Bu nedenle rüzgâr, buharlaşmanın devam edebilmesinde önemli bir rol oynar.

Ayrıca yüzey özellikleri de buharlaşmayı etkileyen önemli faktörlerdendir. Özellikle pürüzlü yüzeylerde buharlaşma sürtünmesiz yüzeylere göre daha az gerçekleşecektir. Yüzeyin albedosunun da buharlaşma üzerinde önemli bir etkisi bulunmaktadır. Siyah renge daha yakın maddeler güneş ışınlarını daha çok absorblamaktadırlar. Dolayısıyla albedosu düşük yüzeyler üzerinden buharlaşma daha çok geçekleşecektir(Nyadawa, Mayabi& Kimathi, 2011).

Bunun yanında bitkilerden olan transpirasyon da stomatal dirence bağlıdır. Stomatal direncin etkisi bitki yapraklarındaki stomaların sayısı, genişliği, açıklığı ve kapalılığına göre değişecektir. Bu durum da bitki yüzeyinden olan buharlaşmayı artıracak veya azaltacaktır. Stomatal direnç bitkinin kök bölgelerindeki toprak nemi ile doğrudan ilişkilidir. Yani toprağın nem miktarı azaldıkça, bitki strese girerek stomalarındaki açıklıkları kapayacaktır. Bu da bitki yüzeyinden gerçekleşen buharlaşmanın azalması yönünde etki yaratacaktır.

Enerji suyun buharlaşma hızını artıran en önemli etkendir. 1 gram suyu (0-100^{o}C) buharlaştırmak için 539-597 kalori arasında enerji gereklidir. Bu nedenle yüzey

üzerine gelen güneş enerjisi, yapay ısıtma veya sıcak havanın buharlaşan yüzey üzerine taşınması buharlaşmayı artıracaktır.

Suda çözünen bazı maddeler de (tuz vb.) buharlaşmanın azalmasına neden olmaktadır. Bunun nedeni de uçuculuğu olmayan bir maddenin bir çözücü içerisinde çözünmesi sonucunda çözeltinin buhar basıncının düşmesidir. Çünkü çözücü içerisinde çözünen madde çözücünün birim yüzeydeki taneciklerinin sayısını azaltır ve bu da buharlaşmanın azalmasına neden olur.

Buharlaşma serbest su yüzeylerinde yüzey üzerine ince bir film serilmesiyle azaltılabilir. Bu durum özellikle kayıpların fazla gerçekleştiği geniş rezervuarlarda büyük önem taşımaktadır. Heksadecanol ve octadekanol maddeleri buharlaşmayı %40 oranında azaltmaktadır (Gunaji, 1965). Fakat su içerisinde yaşayan mikroorganizmalar bu kimyasalların bozunmasına neden olabilmektedir. Ayrıca rüzgârlı havalarda bu tür sistemlerin su yüzeyinde tutulması çok güçtür.

Suyun derinliği de buharlaşmayı etkileyen faktörlerden biridir. Derin su kütleleri geç ısınıp geç soğuduklarından dolayı gün boyunca özellikle yaz mevsimlerinde kışa göre buharlaşma daha az gerçekleşir. Bu durum sığ sularda tam tersi yöndedir.

2.3 Buharlaşma Ölçümleri

Buharlaşma ölçümlerini doğru bir şekilde anlayabilmek için öncelikle buharlaşma ile ilgili bazı tanımlamaların ifade edilmesi gerekmektedir. Buharlaşma, evaporasyon ve evapotranspirasyon olmak üzere iki farklı şekilde gerçekleşmektedir. Evaporasyon serbest su yüzeylerinden gerçekleşirken, evapotranspirasyon bitki ve toprak yüzeylerinden olan buharlaşmayı tanımlar. Belirli bir bölgenin ikliminde gelişen bitki örtüsünün tüm toprak yüzeyini kaplaması ile yeterli suyun sağlandığı koşullarda buharlaşabilecek su miktarı potansiyel evapotranspirasyon olarak açıklanır. Buharlaşma, birim zamanda birim yüzey alanından buharlaşan su miktarını gösterir. Genellikle birim zaman bir gündür ve buharlaşma miktarı milimetre olarak okunmaktadır (WMO, 2003). Evaporasyon ve evapotranspirasyonu sıcaklık veya rüzgar gibi doğrudan ölçmek mümkün değildir. Fakat belli düzenlemelerle buharlaşma değerleri dolaylı yoldan elde hesaplanabilir.

2.3.1 Evaporasyon ölçümleri

Ölçüm yapılacak bir bölge için standart doymuş bir yüzeyden olan su kaybının ölçümü evaporimetreler ile yapılmaktadır. Evaporimetreler, atmometreler ve pan veya tank evaporimetreler olmak üzere iki gruba ayrılır.

Atmometreler

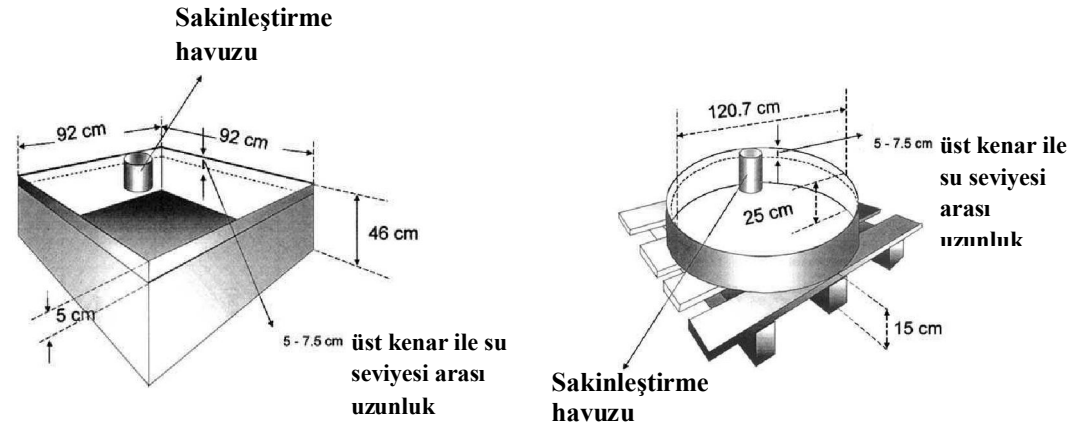
Bir atmometre nemli gözenekli bir yüzey üzerinden olan su kaybını ölçen bir alettir (**Şekil 2.1**). Nemli gözenekli yüzey olarak seramik küre (Livingston atmometresi), seramik levha veya silindir (Bellani atmometresi) veya kâğıt filtre diskleri (Piche, Hirata, Daigo modelleri) kullanılabilmektedir (WMO, 2008b).



Şekil 2.1 : Bellani, Wild, ve Piche tipi atmometreler.

Pan veya tank evaporimetreler

Pan ve tank evaporimetreler dünya üzerinde yaygın olarak serbest su yüzeyinden olan buharlaşmayı ölçmede kullanılan düzeneklerdir. Bu evaporimetrelerin çalışma şekillerine göre yüzey üzerine monte edilen, yüzeyle aynı seviyede monte edilen, suda yüzen değişik boyut ve şekillerdeki çeşitleri vardır (**Şekil 2.2, Şekil 2.3**).





Şekil 2.3 : Serbest su yüzeyinde ve toprak üzerinde kullanılan pan evaporimetreler.

2.3.1.1 Serbest su yüzeylerinden olan buharlaşmanın hesaplanması

Serbest su yüzeylerinden olan buharlaşma su bütçesi metodu, enerji bütçesi metodu, kütle transfer metodu, birleştirilmiş metotlar ve ampirik formüller yoluyla saptanabilmektedir.

Su Bütçesi Metodu

Süreklilik eşitliğinden yararlanılarak geniş su kütlelerinden olan buharlaşmanın belirlendiği metottur. Yöntemin bileşenleri (**2.1**) Eşitliğinde verildiği gibidir. Bu yöntemdeki ifadelerin hepsi belli bir zaman aralığında ölçülen hacimsel toplamları göstermektedirler. Buradaki zaman aralığının bir haftadan az olmaması doğru sonuçların elde edilmesi açısından önemlidir.

(2.1)

Burada E buharlaşma, I su kütlesine giren akım, O su kütlesinden çıkan akım ve ΔS su kütlesinin miktarındaki değişimdir. Giren ve çıkan akımlardaki değişimi yaratan etmenler de eklendikten sonra formülün yeniden düzenlenmesiyle denklem aşağıdaki şeklini alır.

$$E_s = P + R_1 - R_2 - R_g - T_s - F - \Delta S_s \quad \textbf{(2.2)}$$

Burada E_s su kütlesinden olan buharlaşmayı, P yağışı, R_1 yüzey akışından su kütlesine giren miktarı, R_2 yüzey akışlarından dolayı su kütlesinden çıkan miktarı, R_g yer altı suyu içsel akışını, T_s transpirasyon kayıplarını, F sızma kayıplarını ve ΔS_s de su seviyesindeki değişim miktarını gösterir.

Enerji Bütçesi Metodu

Bu yöntem su bütçesi metodunda olduğu gibi süreklilik denkleminin yeniden düzenlenmesiyle büyük su kütlelerinden olan buharlaşmanın enerji büyüklükleri cinsinden belirlenmesi temeline dayanmaktadır. Söz konusu yöntemde temel olarak sisteme gelen enerji ve sistemden çıkan enerjinin sistem içerisinde depolanan enerji ile denge halinde olduğu kabul edilir. Bu yöntemdeki ifadeler günlük birim alan (m^2) başına düşen enerjiyi Watt cinsinden ifade etmektedir(WMO, 2008a).

$$Q_0 = Q_s - Q_r + Q_a - Q_{ar} - Q_{bs} + Q_v - Q_e - Q_h - Q_w \quad \textbf{(2.3)}$$

Burada Q_0 su kütlesinde depolanan enerji, Q_s su yüzeyindeki güneş radyasyonu, Q_r yansıyan güneş radyasyon, Q_a atmosferden gelen uzun dalga boylu radyasyon, Q_{ar} yansıyan uzun dalga boylu radyasyon, Q_{bs} suyun yaydığı uzun dalga boylu radyasyon, Q_v giren ve çıkan sudan olan net enerji katkısı, Q_e buharlaşmada kullanılan enerji, Q_h su kütlesinden hissedilebilir ısı olarak iletilen enerji, Q_w buharlaşan suyla taşınan enerjidir.

Belli düzenlemeler ve kabuller sonucunda yukarıdaki denklem aşağıdaki şekli alır;

$$E = \frac{Q_s - Q_r + Q_a - Q_{ar} - Q_{bs} - Q_0 + Q_v}{\rho\{L(1+B) + C_p(T_e - T_b)\}} \quad \textbf{(2.4)}$$

$$B = 0.61 \frac{P(T_0 - T_a)}{1000(e_0 - e_a)} \quad \textbf{(2.5)}$$

Burada, E buharlaşma (m/s), ρ buharlaşan suyun yoğunluğu (kg/m^3), L suyun buharlaşma gizli ısısı, B Bowen oranı, C_p suyun özgül ısısı (cal/g.^{o}C), T_e buharlaşan suyun sıcaklığı (^{o}C), T_b referans olarak seçilen bir noktanın sıcaklığı (genellikle 0 ^{o}C

olarak alınır), P atmosferik basıncı (mb), T_0 ve T_a sırayla su yüzeyinin ve havanın sıcaklığı (^oC), e_0 ve e_a ise sırayla su yüzeyinin doymuş buhar basıncı ve havanın buhar basıncıdır.

Kütle Transfer Yöntemi

Su yüzeyinden atmosfere transfer edilen su buharının kütlesinin saptanması temeline dayalı bir yöntemdir. Sınır tabakası teorisi, türbülanslı difüzyon ve türbülansın karışım uzunluğu gibi kavramlar göz önünde bulundurularak çıkarılan formüllerde, su yüzeyinden iki farklı yükseklikte ölçülen nem, sıcaklık ve rüzgâr hızı gibi değerler yerine yazılarak havaya olan molekül kaçışları hesaplanabilmektedir (Bayazıt, Avcı& Şen, 2001).

Sınır tabakası teorisine göre hava, su veya yer yüzeyi üzerinden geçtiği zaman aşağı atmosfer içerisindeki kalınlığı 3 tabakaya ayrılabilir. Bunlar yüzey yakınındaki laminer tabaka, türbülanslı tabaka ve sürtünmenin etkili olduğu dış tabakadır. Bunlardan en önemli ilk ikisini açıklayacak olursak ilk tabakada, adından da anlaşılacağı üzere akış laminerdir. Tabakanın kalınlığı çok ince olmakla birlikte milimetre düzeyindedir. Bu tabakada sıcaklık, nem ve rüzgâr hızı yükseklikle lineer olarak değişmektedir ve ısı transferi, su buharı transferi ve momentum transferi moleküler düzeydedir. İkinci tabaka, laminer tabakanın üzerinde bulunan türbülanslı tabakadır. Bu tabakanın kalınlığı türbülansın düzeyine bağlı olarak birkaç metre olabilmektedir. Türbülanslı tabakada sıcaklık, nem ve rüzgâr hızı yüksekliğin logaritmasıyla yaklaşık olarak lineer bir şekilde değişim gösterir ve bu tabakada ısı transferi, momentum transferi ve su buharı transferi türbülanslı bir süreçtir (WMO, 2008a).

Kütle transfer yaklaşımı, Dalton'un buharlaşma ve buhar basıncı arasındaki ilişkiyi veren aerodinamik yasası temeline dayanmaktadırlar.

$$E = k(e_s - e_a) \qquad \textbf{(2.6)}$$

Burada E serbest su yüzeyinden olan buharlaşmayı, k rüzgar hızı, atmosferik basınç ve buharlaşmayla ilgili diğer faktörlere bağlı sabit, e_s belli bir sıcaklığa denk gelen su yüzeyinin doymuş buhar basıncı, e_a havanın buhar basıncıdır. Kütle transfer yöntemiyle buharlaşma hesabına yönelik bugüne kadar birçok araştırmacı tarafından çalışmalar yapılmıştır. Bu yöntemlerden bazıları Singh ve Xu (1997, Çizelge I) tarafından çizelgede gösterilmiştir.

Birleştirilmiş Yöntemler

Meteorolojik verilerin, Dalton'un aerodinamik eşitlikleri ve enerji dengesi metodu eşitliklerinin birleştirilmesiyle oluşturulan formüllerde kullanılmasıyla serbest su yüzeyinden olan buharlaşmanın hesaplanması günümüzde ağırlıklı olarak kullanılan yöntemlerdendir.

$$E_i = \frac{R_n\Delta + E_a\gamma}{\Delta+\gamma} \quad \textbf{(2.7)}$$

$$\Delta = \frac{e_s - e_{sz}}{T_S - T_Z} \quad \textbf{(2.8)}$$

Burada E_i serbest su yüzeyinden olan buharlaşma, R_n net radyasyon, E_a havanın buhar basıncı, Δ herhangi bir Q_a sıcaklığındaki doymuş buhar basıncı eğrisinin eğimi, γ kuru ve ıslak termometre eşitliğindeki sabittir.

Net radyasyon hesaplamasına yönelik formül aşağıdaki gibidir.

$$R_n = \left(0.25 + 0.5\frac{n}{N}\right)S_0 - \left(0.9\frac{n}{N} + 0.1\right)\left(0.34 - 0.14\sqrt{e_d}\right)\sigma T^4 \quad \textbf{(2.9)}$$

Burada $\frac{n}{N}$ aktüel güneşli saatlerin olası güneşli saatlere oranı, S_0 dünya dışı güneş ışınımı (MJ/m^{2}gün), e_d havanın aktüel buhar basıncı (mm/Hg), σ Stefan Boltzmann sabitidir ve Tortalama hava sıcaklığıdır (K).

Bunun yanında Kohler ve arkadaşları (1959) grafiksel olarak güneş radyasyonu, hava sıcaklığı, çiy noktası sıcaklığı ve buharlaşma havuzu seviyesindeki rüzgar hızı ölçümleriyle sığ ve kütledeki ısıyı etkilemeyecek herhangi bir su kütlesinin karışmadığı göller için buharlaşmanın hesaplanabileceği bir yöntem önermiştir. Derin sular ve giren çıkan akımların önemli ısıl değişimlere neden olabileceği durumlar için de yine bu yöntemle hesaplanmış buharlaşma değeri giren ve çıkan akımların yarattığı net enerji ve gölde depolanmış enerjideki değişim göz önünde bulundurularak düzeltilir.

Ampirik Yöntemler

Teorik anlamda enerji bütçesi ve kütle transfer yöntemleri için çalışmalarda kullanılabilecek mevcut uygun veri yoktur veya yetersizdir. Bu durum ampirik formüllerin kullanılması gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Ampirik yöntemlerle ilgili olarak Mutreja (1986), hem enerji bütçesi metodu hem de kütle transferi yöntemlerini birlikte kullanarak buharlaşmanın hesaplanmasını sağlayan ampirik

formüller çıkarmıştır. Bu formüller temelde Dalton'un basit aerodinamik eşitliğine dayanmaktadır.

Serbest su yüzeyinden olan buharlaşmayı hesaplamada bilinen bazı ampirik yöntemler aşağıda verilmiştir.

Penman Formülü (1948);

$$E(cm/g\ddot{u}n) = 0.89(1 + 0.15U_2)(e_s - e_{aa}) \quad \textbf{(2.10)}$$

Marcianno ve Harbeck Formülü (1954);

$$E(cm/g\ddot{u}n) = 0.0918U_8(e_s - e_8) \quad \textbf{(2.11)}$$

$$E(cm/g\ddot{u}n) = 0.1156U_4(e_s - e_2) \quad \textbf{(2.12)}$$

Kuzmin Formülü (1957);

$$E(cm/ay) = 15.24(1 + 0.13U_s)(e_s - e_a) \quad \textbf{(2.13)}$$

USGS Formülü (1977);

$$E(cm/yıl) = 4.57T + 43.3 \quad \textbf{(2.14)}$$

Shahtin Mamboub Formülü (1986);

$$E(cm/g\ddot{u}n) = 0.35(e_s - e_a)(1 - 0.15U_2) \quad \textbf{(2.15)}$$

Burada E serbest su yüzeyinden olan buharlaşmayı, U_n su yüzeyinden belirli yükseklikteki rüzgar hızını (km/sa), e_s su yüzeyinin sıcaklığındaki doymuş buhar basıncı (cm/Hg), e_{aa} belirlenen bir a yüksekliğinde havanın aktüel buhar basıncı (cm/Hg), e_a havanın aktüel buhar basıncını (cm/Hg), e_2 2 metre yükseklikte havanın aktüel buhar basıncını (cm/Hg), e_8 8 metre yükseklikte havanın aktüel buhar basıncını (cm/Hg), T ortalama yıllık sıcaklığı gösterir (^oC).

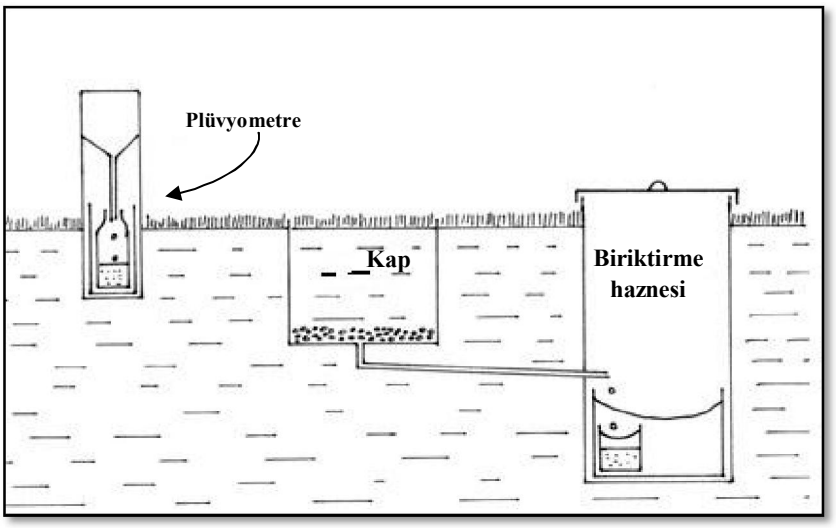
2.3.2 Evapotranspirasyon ölçümleri

Evapotranspirasyon toprak evaporimetreleri ve Lizimetre kullanılarak su bütçesi veya ısı bütçesi yöntemleriyle, türbülanslı difüzyon yöntemiyle ve daha birçok meteorolojik veriye dayalı deneysel yöntemlerle belirlenebilmektedir. Toprak evaporimetreleri ve lizimetrelerle yapılan ölçümler diğer yöntemlere göre farklı toprak yüzeylerinden olan evapotranspirasyonun ve toprağın evaporasyonunun doğrudan ölçümünü sağlamaktadırlar. Lizimetre yer yüzeyinin altına monte edilmiş içi toprakla dolu bir kaptan oluşan ve üzerinde çevredeki bitki örtüsüyle benzer

bitkilerin ekildiği ve bu sayede evapotranspirasyonun ölçülebildiği bir düzenektir (**Şekil 2.4**). Evapotranspirasyonun saptanabilmesi için kabın içindeki su bütçesi bileşenleri yani yağış, yer altına sızan su ve kap içerisindeki toprak tabakalarının su içeriğindeki değişimin ölçülmesi veya kıyaslanması gereklidir. Genellikle yüzey akışının yapacağı katkı elimine edilmektedir. Ayrıca toprak nemi tarla kapasitesinde tutulduğu zaman Lizimetreler ile toprağın potansiyel evaporasyonu veya bitkilerle örtülü toprağın potansiyel evapotranspirasyonu belirlenebilmektedir. Lizimetreler **Şekil 2.5**'te görüldüğü gibi toprak altına monte edilmektedir. Bunun yanında uzaktan algılama ile dünya yüzeyinden saçılan veya kırılan elektromagnetik radyasyonun belirli bir dalga boyu aralığında ölçülmesiyle evapotranspirasyon hesaplamalarında kullanılan önemli parametreler saptanabilmektedir. Bu da evapotranspirasyonun dolaylı yoldan saptanabilmesini sağlayacak bir yöntemdir (WMO, 2008b).



Şekil 2.4 : Lizimetre.



Şekil 2.5 : Lizimetrenin şematik görüntüsü.

2.4 Buharlaşma Ölçümlerinde Karşılaşılan Problemler

Buharlaşma ölçümlerinde hatalı sonuçlar elde edilmesine neden olacak birçok hata kaynağı vardır. Bu hata kaynaklarından bazıları kullanılan ölçüm cihazı ile ilgili sorunlar, çevre ve buradaki doğal yaşam ile ilgili sorunlar, yetersiz ölçüm ile ilgili sorunlar ve ölçüm yapan kişiden kaynaklı sorunlar olabilir.

Kullanılan ölçüm cihazı ölçümü yapılacak olan değişkeni doğru temsil etmelidir. Burada özellikle bakımı yapılmayan, kalibre edilmeyen cihazların hatalı sonuç vermesi muhtemeldir. Her ölçüm cihazının belli periyotlarda bakımı yapılması gereklidir. Ayrıca ölçüm cihazının kurulduğu çevre ve buradaki doğal yaşam sorun yaratıcı nedenler arasında olabilir. Cihazın kurulduğu alanda ölçüm değerlerini etkileyecek otların uzaması, cihazların tozlanmasına, kirlenmesine neden olacak araziler, hayvanların cihazlar üzerinde gezinmesi, ölçüm cihazlarından su içmesi gibi durumlar hatalı veri elde edilmesine sebep olacaktır. Bunun yanında buharlaşma formüllerindeki bazı değişkenlerin tam ve doğru bir şekilde ölçülememesi veya belirlenememesi de bir hata kaynağıdır. Örneğin göllerden olan sızma kayıplarının iyi saptanamaması buharlaşma değerlerinin yanlış hesaplanmasını sağlayacaktır. Diğer bir önemli hata kaynağı özellikle ölçüm yapan kişiden dolayı oluşmaktadır. Cihazların kurulumundan, çalışma ve bakımına kadar her türlü standart prosedürün doğru bir şekilde yerine getirilmesi gerekmektedir. Aksi takdirde ölçülen her veri doğruyu yansıtmayacaktır.

Buharlaşma ölçümlerinde kullanılan ölçüm aletlerinin de belli hassasiyetleri vardır ve hatalı ölçüme neden olacak durumlar söz konusudur. Günümüzde ağırlıklı olarak buharlaşma ölçümlerinde kullanılan atmometreler, buharlaşma havuzu ile tanklar ve lizimetreler için hata kaynakları da vardır. Bunlardan bazılarına aşağıdaki başlıklar altında değinilmiştir.

2.4.1 Atmometrelerdeki hata kaynakları

Atmometrelerin çalışmasını engelleyen en büyük sorun buharlaşma yüzeyinin temiz tutulması ile ilgili sorundur. Kirli yüzeyler buharlaşmayı azaltıcı yönde etki edeceği için yanlış ölçüm sonuçları elde edilebilmektedir. Atmometrelerin boyutunun küçük olması, düşük maliyetli olması ve ölçümler için az miktarda suya ihtiyaç duyulması buharlaşma ölçümleri açısından önemli bir avantajdır. Fakat bu aletlerin küçük

ölçekli çalışmalarda kullanılması önerilirken su kaynakları çalışmalarında tercih edilmemesi önerilmektedir (WMO, 2003).

2.4.2 Buharlaşma havuzu ve tanklardaki hata kaynakları

Yerin üzerine monte edilen buharlaşma havuzunun kurulumu ucuz ve basittir. Bunun yanında bakım yapılması da kolaydır. Yere gömülen buharlaşma havuzuna göre, yüzey kirliliğinden, tozdan, çöpten veya etraftan sıçrayan çamur veya maddelerden çok daha az etkilenmektedir. Ayrıca kurulumdan sonra ortaya çıkabilecek sızıntıların belirlenmesinde ve önlenmesinde toprak altına gömülen buharlaşma havuzları daha dezavantajlıdır. Fakat yan yüzeylerden aldığı fazladan enerji dolayısıyla toprak altına gömülen buharlaşma havuzuna göre daha fazla buharlaşma gerçekleşecektir. Bunun yanında yeraltına gömülen buharlaşma havuzunun etrafında gelişen bitkiler de belli bir dereceden sonra havuzun çevresiyle olan ısı alışverişini etkileyecektir. Bu da buharlaşma ölçümlerinde farklı sonuçlar elde edilmesine neden olmaktadır.

Yüzen buharlaşma havuzundan elde edilen ölçümler gölden olan buharlaşmayı diğer modellere göre en fazla temsil eden ölçüm sistemidir. Fakat bu ölçüm sistemi de gölde serbest halde bulunduğu için göldeki çalkalanmalardan veya sürüklenmelerden etkilenecek ve idare edilmesi zor olacaktır. Ayrıca bu tür yüzen havuzların maliyeti yüksektir. Avantaj ve dezavantajlarının yanında şiddetli yağışlarda havuzun taşması veya havuzda az su kalması sonucunda su yüzeyinin ısınma oranındaki artış da buharlaşmayı etkileyecektir.

2.4.3 Lizimetrelerdeki hata kaynakları

Lizimetreler doğal çevre koşullarının etkisi ve yapısal özelliklerinden dolayı birçok hata kaynağına maruz kalmaktadırlar. Öncelikle lizimetre içerisine evapotranspirasyon ölçümü için ekilen bitkinin kök sisteminin, aletin çevresindeki bitki örtüsüne göre büyüyebileceği sınırlı bir alanın olması ölçüm değerlerini etkileyecek önemli bir sorundur. Ayrıca lizimetre içerisindeki bitki örtüsü ile cihazın etrafını çevreleyen bitki örtüsü arasındaki süreksizliğin, türbülanslı difüzyon etkisinde de değişime neden olması da buharlaşma ölçüm sonuçlarını etkileyecektir. Süreksizlik yaratan durum lizimetrenin yüzeyi ile içindeki toprak içeriğinin dışındaki ile farklılık göstermesi durumunda da ortaya çıkabilmektedir. Bunun yanında lizimetrenin yapıldığı maddenin ısıl özellikleri dolayısıyla içerisindeki bitki örtüsü ile çevresindeki bitki örtüsü arasında termal bir farklılık yaşamaktadır. Bu da önemli bir

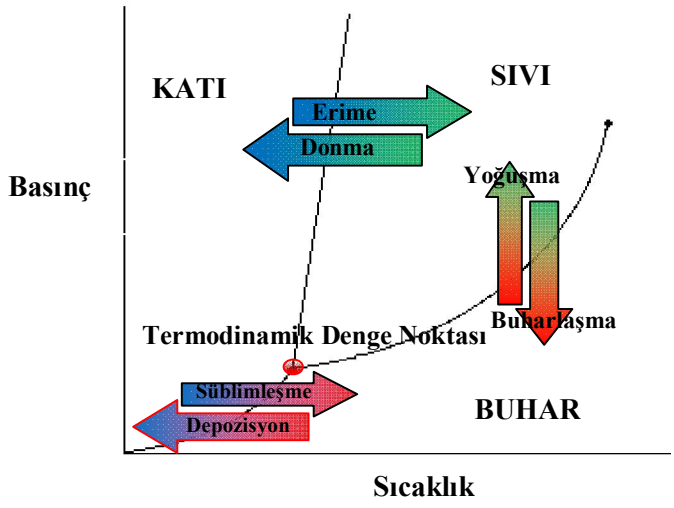
hata kaynağıdır. Ek olarak lizimetrenin etrafını çevreleyen toprak alanla içerisindeki toprak alanı arasındaki su bütçesi dengesinin yeterli derecede olmaması da önemli bir sorundur.

3. SÜBLİMLEŞME

Katı bir maddenin çevresinden ısı alarak sıvı faz haline geçmeden gaz fazına geçmesi olayına süblimleşme denilmektedir. Süblimleşme endotermik bir olaydır ve ısı alan katı yüzeyler üzerindeki moleküller doğrudan atmosfere karışmaktadırlar.

3.1 Süblimleşmenin Tanımı ve Mekanizması

Belli bir buhar basıncı altında kimyasal bileşikler ve elementler farklı sıcaklıklarda maddenin katı, sıvı ve gaz hallerinde bulunabilirler (**Şekil 3.1**). Ayrıca bu maddelerin katı, sıvı ve gaz hallerinin aynı anda bir arada denge halinde bulunabildiği basınç ve sıcaklık durumuna termodinamik denge noktası denilmektedir. Süblimleşme de bu termodinamik denge koşulunun altındaki sıcaklık ve basınç koşullarında gerçekleşmektedir. Her maddenin normal basınç altında kendine özgü erime, kaynama ve yoğuşma sıcaklığı vardır. Süblimleşme de maddelerin kendi fiziksel özelliklerine bağlı olarak değişir. Bazı maddeler yüksek sıcaklık ve basınç altında süblimleşirken, bazıları da açık çevre koşullarında ve hatta bunun da altındaki koşullarda süblimleşebilmektedir. Genellikle buhar basıncı yüksek olan maddeler açık havada hızlı bir şekilde süblimleşebilmektedirler.



Şekil 3.1 : Faz değişimi diyagramı.

3.2 Süblimleşebilen Maddeler

Oda sıcaklığında en çok bilinen süblimleşebilen maddeler arasında katı karbon dioksit, benzoik asit, arsenik, iyot, naftalin, kâfur, mentol bulunur. Bu maddelerin buhar basınçları açık atmosfer koşullarında yüksek olduğu için süblimleşmeleri hızlı bir şekilde gerçekleşmektedir. Ayrıca donma sıcaklığının altında buz ve kardan da süblimleşme gerçekleşir. Bunun yanında, timol, borneol, piren gibi organik bileşikler ve mikro düzeyde metaller de süblimleşebilmektedirler. Süblimleşebilen maddelerden naftalin, mentol ve kâfurun özellikleri aşağıda belirtilmiştir (**Çizelge 3.1**).

Çizelge 3.1 : Naftalin, kafur ve mentol maddelerinin kimyasal özellikleri.

Madde Adı	**Naftalin**	**Kafur**	**Mentol**
Kimyasal Formülü	$C_{10}H_8$	$C_{10}H_{16}O$	$C_{10}H_{20}O$
Moleküler Ağırlığı	128.17 $g.mol^{-1}$	152.23 $g.mol^{-1}$	156.27 $g.mol^{-1}$
Katı Hal Yoğunluğu(25°C)	1.14 $g.cm^{-3}$	0.99 $g.cm^{-3}$	0.89 $g.cm^{-3}$
Erime Sıcaklığı	80.26 °C	175-177 °C	31-42 °C
Kaynama Sıcaklığı	218 °C	204 °C	212 °C
Termodinamik Denge Noktası Sıcaklığı	80.26 °C	180.3 °C	-
Termodinamik Denge Noktası Basıncı	0.9996 kpa	51.44 kpa	-
Süblimleşme Entalpisi	132 $cal.gr^{-1}$	58.5 $cal.gr^{-1}$	-
Parlama Noktası Sıcaklığı	78.89 °C	64.44 °C	93 °C
Kritik Sıcaklık	472.5 °C	422 °C	384.85 °C
Kritik Basınç	40.51 bar	30.4 bar	27.104 bar
Su İçerisindeki Çözünürlüğü	~30 mg/L	1200 mg/L	420-508 mg/L
Aseton İçerisindeki Çözünürlüğü	Yüksek oranda çözünür	Yüksek oranda çözünür	Yüksek oranda çözünür
Katı Hal Görünüşü	Beyaz kristal	Beyaz yarı saydam kristal	Beyaz veya renksiz kristal
Zararları	Doğal yaşam üzerinde tehdit oluşturur.Cildi ve gözleri tahriş edicidir. Yutulması ve fazla miktarda koklanması halinde öldürücü olabilir. Kanserojen etkisi vardır.	Cilt üzerinde hafif tahriş edici etkisi bulunur.gözler üzerinde tahriş edici etkidedir.yutulması ölüme neden olabilir.solunum sistemine zarar verici etkileri vardır.	Cilt üzerinde hafif tahriş edici etkisi bulunur. yutulması ölüme neden olabilir. solunum sistemine zarar verici etkileri vardır.

3.3 Süblimleşmenin Ölçülmesi

Süblimleşmenin ölçülmesi, süblimleşebilen katı maddeler üzerinden atmosfere olan kütle kaybının belli bir periyot içerisindeki değişiminin saptanmasına yönelik çalışmaları kapsamaktadır. Bu ölçümler ağırlıklı olarak ısı transferi ve kütle transferi arasındaki benzerlikten yararlanarak ısı transfer katsayılarının hesaplanmasına yönelik çalışmalarda kullanılmaktadır. Bu konuda en yaygın kullanılan yöntemlerden biri naftalin süblimleşme tekniğidir (Mendes, 1991). Bu teknikte naftalin süblimleşmesinden olan kütle kaybı ortalama ve yerel ölçüm yöntemleri ile belirlenebilmektedir. Burada oda sıcaklığında elde edilmiş naftalinin yüzey sıcaklığı zamanla değişim göstermiyorsa katı yüzeyinde sabit buhar basıncı ve buhar konsantrasyonuna sahip olacaktır. Bu durum ısı transferindeki izotermal sınır koşuluna benzer ve kütle transferindeki geçirgen olmayan duvar şartı da adyabatik sınır koşuluna benzemektedir.

3.3.1 Ortalama ölçüm yöntemi

Bu yöntemde belli bir zaman periyodu içerisinde iki farklı ölçüm arasındaki ortalamanın veya değişimin hassas teraziyle tartılarak belirlemesi yoluyla süblimleşme ile ilgili katsayı veya değer hesaplanabilmektedir.

3.3.2 Yerel ölçüm yöntemi

Yerel ölçüm yönteminde naftalin üniform yüzeye sahip olacak şeklinde dökümü yapılır. Daha sonra kalıp üzerinde referans noktalar belirlenir ve bir yüzey profili çıkarılır. Buradan süblimleşme derinliği ölçebilen özel cihazlarla naftalin üzerinden olan süblimleşme miktarı belirlenir.

3.4 Naftalin Süblimleşmesi ile İlgili Yapılmış Çalışmalar

Bugüne kadar naftalin süblimleşmesi ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar özellikle ısı ve kütle transferi konuları üzerine gerçekleştirilmiştir.

Koçak ve Çaldağ (2009) serbest su yüzeyinden olan buharlaşma ile naftalin kabından olan süblimleşme arasında, güçlü bir doğrusal ilişki olduğunu saptamışlardır.

Yoo ve arkadaşları (2003), dikdörtgen bir silindir üzerindeki ortalama ve yerel kütle transfer oranlarının naftalin süblimleşme tekniğiyle belirlemeye ve akış karakterinin kütle transferi üzerindeki etkisini araştırmaya yönelik bir çalışma yapmıştır.

Goldstein ve Cho (1995) çalışmalarında naftalin süblimleşme tekniğini detaylı bir şekilde incelemişlerdir. Burada ortalama ve yerel ölçüm katsayılarının nasıl saptanabileceği, yöntemdeki avantaj ve dezavantajlara değinilmiştir.

Ayrıca naftalin süblimleşmesinden yararlanılarak düşük maliyetle rüzgar hızının belirlenmesi ile ilgili çalışma yapılmıştır (Bernier, 1987).

Naftalin süblimleşmesi ile ilgili diğer bir çalışma da Sporrow ve Lovell (1980) tarafından naftalin kaplanmış bir yüzeye dik ve eğik açılarda dairesel bir hava jetinin çarptırılmasıyla kütle transferinin ölçülmesi ve buradan ısı transferine ulaşılması çalışmasıdır.

4. BUHARLAŞMA İLE SÜBLİMLEŞME ARASINDAKİ İLİŞKİNİN DENEYSEL OLARAK BELİRLENMESİ

Serbest su yüzeyinden olan buharlaşmanın ikinci bölümde de anlatıldığı gibi su bütçesi metodu, enerji bütçesi metodu, kütle transfer yöntemi, birleştirilmiş yöntemler ve ampirik formüllerle saptanabilmesi mümkündür. Fakat bu tez çalışmasında süblimleşme ve serbest su yüzeyinden olan buharlaşma arasındaki ilişkiyi irdelerken kütle transfer yönteminden yararlanılacaktır. Burada temel hedef, her iki olayda da kütle kaybını ölçerek süblimleşme ile serbest su yüzeyinden olan buharlaşma arasındaki ilişkiyi ortaya koymak ve devamında atmosferik değişkenlerin bu ilişkiyi nasıl etkilediğini belirlemektir.

Süblimleşme sonucunda gerçekleşen kütle kaybını belirlemede de üçüncü bölümde açıklandığı üzere naftalin süblimleşme tekniğinde kullanılan ortalama ölçüm yöntemiyle, tartma yoluyla, iki ölçüm arasındaki değişim miktarının belirlenmesi yoluna gidilmiştir.

4.1 Atmosferik Değişkenlerin Rolü

Açık hava şartlarında süblimleşme ve buharlaşmadan bahsederken atmosferik değişkenlerin rolünü irdelemek gerekmektedir. Buharlaşmayı etkileyen faktörler ikinci bölümde anlatılmıştır. Bu faktörler aynı şekilde süblimleşme üzerinde de etkide bulunur. Açık havada birbirine değmeyecek şekilde ve yakın mesafeye yerleştirilmek şartıyla bir kap içerisine dökülmüş naftalin ile özdeş şekildeki kaba doldurulmuş su üzerine aynı meteorolojik faktörler etki eder. Dolayısıyla naftalin süblimleşmesi ve serbest su yüzeyinden olan buharlaşma arasındaki ilişkiyi ve bu ilişkinin derecesini incelerken meteorolojik değişkenlerin de bu ilişki üzerindeki etkisi göz önünde bulundurulmalıdır.

Bu çalışmada ortalama hava sıcaklığı, bağıl nem, güneş radyasyonu ve rüzgar hızı gibi meteorolojik değişkenler kullanılmıştır. Buharlaşma bu değişkenler tarafından ifade edilebilecek bir fonksiyon olarak yazılırsa;

$$E = E(RH, T, V, GR) \quad \textbf{(4.1)}$$

şeklini alır. Burada *E* serbest su yüzeyinden buharlaşma, *RH* bağıl nem, *T* sıcaklık, *V* rüzgar hızı, *GR* de güneş radyasyonudur.

Naftalin yüzeyi üzerinden olan kütle transferini ifade ederken süblimleşmeyi etkileyen faktörler olarak sıcaklık, rüzgâr ve güneş radyasyonunun yanında havadaki naftalin buharının da bilinmesi gereklidir. Bu değer havanın su buharı içeriğine göre çok düşük olduğu için naftalin yüzeyinden devamlı bir kütle kaybı gerçekleşecektir. Çünkü açık atmosferde havayı naftalin içeriği açısından doyma noktasına ulaştıracak kadar bir naftalin buharı olmadığı için katı yüzeyinden devamlı naftalin süblimleşecektir. Havanın bağıl nem oranının yüzde yüze ulaşması durumu teorik olarak kabul edilmiş bir durumdur. Bağıl nemin yüzde yüz olması havanın daha fazla su buharı taşıyamayacağı anlamına gelir. Yani buharlaşma da duracaktır. Bu durum normal koşullarda mümkün değildir ve daha düşük bağıl nem oranında yağış gerçekleşir. Bununla birlikte naftalin yüzeyinden olan sürekli kütle kaybı her türlü meteorolojik hava koşulunda devam edecektir.

Naftalin yüzeyinden olan süblimleşme ile serbest su yüzeyinden olan buharlaşma arasında %74'lük bir korelasyon bulunmuştur (Koçak ve Çaldağ, 2009). Bu sonuçtan yola çıkarak;

$$E(x) = S(x) + A(x) \quad \textbf{(4.2)}$$

şeklinde yazılabilir. Burada *E* serbest su yüzeyinden buharlaşma fonksiyonu, *S* naftalin yüzeyinden süblimleşme fonksiyonu, *A(z)* ise serbest su yüzeyinden olan buharlaşmanın naftalin süblimleşmesi tarafından açıklanamayan kısmıdır. Bağıl nem dışında buharlaşmayı etkileyen aynı meteorolojik faktörlerin naftalin süblimleşmesini de etkilediği göz önünde bulundurulursa buharlaşma;

$$E(x) = B[RH, S(x)] + C(x) \quad \textbf{(4.3)}$$

şeklinde yazılabilir. Burada B bağıl nem ve süblimleşmeye bağlı fonksiyon, C(*x*) yine yukarıdaki eşitlikte olduğu gibi açıklanamayan kısımdır.

4.2 İlişkinin Belirlenmesinde Kullanılan İstatistiksel Yöntem

Bu çalışmada Serbest su yüzeyinden olan buharlaşma, naftalin süblimleşmesi ve bazı meteorolojik değişkenler (sıcaklık, bağıl nem, rüzgar, güneş radyasyonu) arasındaki ilişkiyi belirlemede regresyon analizinden yararlanılmıştır.

4.2.1 Regresyon analizi

İki değişken arasında bir ilişki bulunuyorsa bu durum, iki değişkenden birinin diğerinden etkilenmesi veya başka değişkenlerin bu iki değişkeni etkilemesi şeklinde açıklanabilir. Fakat doğal hayatta iki değişken arasındaki ilişkiyi genellikle birbirinin fonksiyonu şeklinde açıklamak tam olarak mümkün değildir. Yani değişkenlerden biri belli bir değeri aldığı zaman diğerinin de her zaman aynı değeri alacağı söylenemez. Söz konusu ilişkide göz önünde bulundurulmayan diğer değişkenlerin etkisinden dolayı bu durum tam olarak açıklanamaz. Fakat yine de değişkenler arasındaki fonksiyonel olmayan bağıntının bulunması ve bunun derecesinin belirlenmesi uygulamada büyük öneme sahiptir. Bu türden matematiksel bir bağıntıya regresyon denklemi denmektedir. Böylelikle regresyon analizi için iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkinin anlamlı olup olmadığını belirlemede kullanılan bir yöntem olduğu söylenebilir. Burada değişkenler arasında anlamlı bir ilişki varsa bu ilişkiye ait regresyon denkleminin ve bu denklemin değişkenlerin tahmininde kullanılmasıyla elde edilecek sonuçların güven aralığının hesaplanması amaçlanılmaktadır.

Regresyon analizi en az iki veya daha çok değişken arasında uygulanır. Burada öncelikli olarak değişkenler arasındaki ilişkinin doğrusal mı yoksa doğrusal olmayan bir ilişki mi olduğuna bakılır. Buna göre regresyon analizi üç şekle ayrılır. Bunlar basit doğrusal regresyon, çoklu doğrusal regresyon ve doğrusal olmayan regresyondur.

4.2.1.1 Basit doğrusal regresyon

Birbirleri arasında doğrusal bir bağımlılık olan iki değişken arasındaki ilişkiyi ifade etmekte kullanılan regresyon analizi yöntemidir. Burada ilk olarak iki değişken arasındaki doğrusal bağımlılığın varlığı saptanmalıdır. Bunu saptamak için öncelikle iki değişkenden bağımlı değişken y koordinat eksenine, bağımsız değişken ise x koordinat eksenine yerleştirilmek suretiyle saçılma diyagramı çizilir. Sonra elde

edilen noktasal dağılımda ölçümlerin bir doğru etrafındaki yayılımı incelenir. Burada önemli olan doğrusal olduğuna inanılan bağımlılık için verilerin ne kadar doğru etrafında dağıldığıdır. Bunun belirlenmesi için korelasyon katsayısının da hesaplanması gerekmektedir. Korelâsyon katsayısı iki değişken arasındaki doğrusal bağımlılığı belirlemede kullanılan bir ölçüdür.

$$r_{x,y} = \frac{\sum_{i=1}^{N} x_i y_i - N\bar{x}\bar{y}}{N S_x S_y} \qquad \textbf{(4.4)}$$

Örneklem sayısı otuzdan küçük olması durumunda N yerine N-1 koymak gereklidir. Korelasyon katsayısı $0 \leq r_{xy} \leq 1$ aralığında değer alır. Bu değerin sıfıra yakın olması değişkenler arasında çok az bir doğrusal bağımlılığın bulunduğunu, bire yakın olmasıysa iki değişken arasında kuvvetli bir doğrusal bağımlılığın olduğunu gösterir.

Regresyon analizinde bağımlı değişken için Y sembolü kullanılır. Bağımsız değişkeni temsil eden terim de X sembolüdür. Bu koşullarda regresyon denklemi;

$$Y = a + bX \qquad \textbf{(4.5)}$$

şeklinde yazılır. Burada a ve b regresyon katsayılarıdır. Regresyon denklemini belirlemeden önce a ve b katsayılarının hesaplanması gereklidir.

$$b = \frac{\sum_{i=1}^{N}(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^{N}(x_i - \bar{x})^2} = \frac{S_y}{S_x} r_{x,y} \qquad \textbf{(4.6)}$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \qquad \textbf{(4.7)}$$

Regresyon doğrusu gözlem noktalarının doğruya olan düşey uzaklıklarının kareleri toplamını minimum yapacak şekilde çizilir.

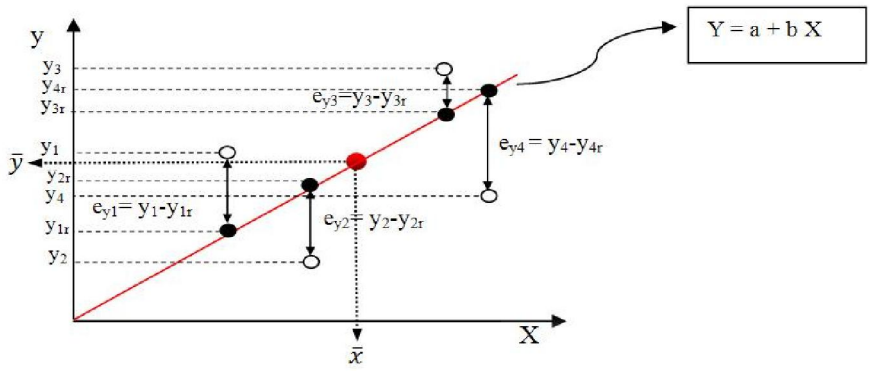
$$min \sum_{i=1}^{N} {e_{yi}}^2 = \sum_{i=1}^{N}(y_i - a - bx_i)^2 \qquad \textbf{(4.8)}$$

Gözlem noktalarının regresyon doğrusuna olan düşey uzaklıkları toplamı sıfırdır. Ayrıca bu uzaklıklar arasındaki varyans hesaplanacak olursa;

$$\sum_{i=1}^{N} e_{yi} = 0 \qquad \textbf{(4.9)}$$

$${S_{ey}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N} {e_{yi}}^2}{n-2} = \frac{n-1}{n-2}(1 - {r_{x,y}}^2){S_y}^2 \qquad \textbf{(4.10)}$$

S_{ey}^2, Y değişkeninde X'in dışındaki diğer etkenler nedeniyle olan değişime bağlı varyanstır.



Şekil 4.1 : Regresyon doğrusu örnek çizimi.

a ve b regresyon katsayıları için güven aralıkları hesaplanabilir. Bunun için e_{yi} uzaklıklarının normal dağılmış rastgele değişkenler olduğu kabulü ile a ve b'nin örnekleme dağılımları için t istatistikleri hesaplanır.

$$t_a = \frac{a-\propto}{\left[\frac{S_{ey}{}^2}{N}\left(1+\frac{\bar{x}^2}{S_x{}^2}\right)\right]^{\frac{1}{2}}} \qquad t_b = \frac{b-\beta}{\left[\frac{S_{ey}{}^2}{N}\frac{1}{S_x{}^2}\right]^{\frac{1}{2}}} \tag{4.11}$$

Burada $\propto$ ve β toplumun a ve b katsayılarına denk gelen sayılardır. Bu iki denklem için sıfır hipotez testi $\left(H_0: \begin{matrix}\propto = 0 \\ \beta = 0\end{matrix}\right)$ uygulanır. Eğer test kabul sonucuna ulaşırsa iki değişken arasındaki ilişkinin doğrusal bir bağımlılığı olmadığı, tersi durumdaysa değişkenler arasında doğrusal bir bağımlılık bulunduğunu gösterir.

Bir x_0 değerini regresyon denkleminde yerine yerleştirip y değerini tahmin edebiliriz. Bu tahmin edilen y değerinin istatistiksel dağılımı asimptotik olarak normal olur ve bunun varyansı,

$$S^2(Y|X = X_0) = S_{ey}{}^2\left[\frac{N+1}{N} + \frac{(X_0-\bar{X})^2}{NS_x{}^2}\right] \tag{4.12}$$

Yukarıdaki formülün karekökü y'nin tahminindeki standart hatayı verir. Burada hata miktarı, korelasyon katsayısının azalması ile S_{ey}^2 değerine bağlı olarak artar veya korelasyon katsayısının artması yine S_{ey}^2 değerine bağlı olarak azalır. Ayrıca X_0-$\bar{X}$ farkının artmasına göre yani bağımsız değişkenlerin ortalamadan olan farkının artmasına göre tahmin güvenilirliği de azalır.

4.2.1.2 Çok değişkenli doğrusal regresyon

Önceki başlık altında basit doğrusal regresyonun bir bağımlı değişken ve bir de bağımsız değişken arasındaki doğrusal bağımlılığı olan ilişkiyi ifade ettiğinden söz edilmiştir. Çok değişkenli doğrusal regresyon analizi bir bağımlı değişken ve birden çok bağımsız değişken arasındaki doğrusal ilişkiyi ortaya çıkarmada kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. Burada Y terimine bağımlı değişken denilecek olunursa X_1, X_2, …, X_n sembolleri de bağımsız değişkenleri temsil eder. Böylelikle regresyon denklemi,

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 \ldots + b_mX_m \qquad \textbf{(4.13)}$$

olur.a, b_1, b_2, …, b_m katsayıları basit regresyondakine benzer şekilde gözlem noktalarının bu kez çok boyutlu regresyon düzleminden olan uzaklıklarının kareleri toplamını minimum yapacak şekilde hesaplanır.

$$Min \sum_{i=1}^{N} {e_{yi}}^2 = \sum_{i=1}^{N} (y_i - a - b_1x_{1i} - b_2x_{2i} \ldots - b_mx_{mi})^2 \qquad \textbf{(4.14)}$$

Buradan gözlem noktalarının düşey y doğrultusunda regresyon düzleminden olan uzaklıklarının varyansı,

$${S_{ey}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N} {e_{yi}}^2}{N-(m+1)} \qquad \textbf{(4.15)}$$

olur. Burada m bağımsız değişken sayısıdır.

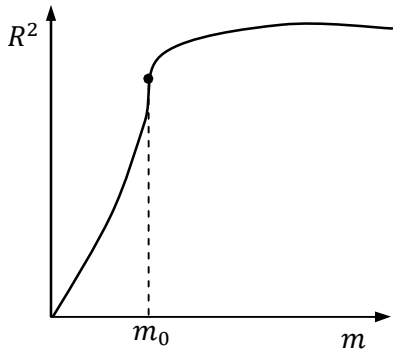
Çok değişkenli doğrusal regresyon analizinde değişkenler arasındaki doğrusal bağımlılığın bir ölçüsü olarak korelasyon katsayısı kullanılır. Korelasyon katsayısı basit doğrusal regresyondakine benzer şekilde,

$$R = \left(1 - \frac{S_{ey}}{S_y}\right)^{\frac{1}{2}} \qquad \textbf{(4.16)}$$

formülünden bulunur. R değeri $0 \leq R \leq 1$ arasında değerler alır. Bu değerin bire yakın olması değişkenler arasındaki ilişkinin belirlenebilir doğrusal bir ilişkiye yakın olduğunu gösterir. Sıfıra yakın olmasıysa iki değişken arasında anlamlı doğrusal bir ilişki olmadığını gösterir. Fakat regresyon denklemindeki bağımsız değişken sayısı (m) arttıkça serbestlik derecesi (N - m - 1) de azalacaktır. Bu durum tahminlerde hataya neden olabilmektedir.

Yukarıda da açıklandığı gibi bağımlı değişkeni etkileyen bağımsız değişken sayısı arttıkça regresyon denklemi ile yapılacak tahminlerin güvenilirliği azalabilir. Dolayısıyla çok değişkenli doğrusal regresyon analizinde en uygun bağımsız değişken sayısına karar vermek tahminlerin güvenilirliği açısından önemlidir. Bunun için farklı yollar denenebilir;

Bağımsız değişken sayısındaki artışla birlikte determinasyon katsayısının artışın grafiği çizilerek eğrinin hızlı artıştan sonra azalışa geçmeye başladığı noktaya karşılık gelen bağımsız değişken sayısı seçilir (**Şekil 4.2**).



Şekil 4.2 : Bağımsız değişken sayısına göre regresyon denklemlerinin determinasyon katsayısındaki artış.

Bunun doğruluğu $H_0: R = 0$ hipotezi ile kontrol edilir. Bunu yaparken F statiğinden yararlanılır.

$$F = \frac{\frac{R^2}{m}}{(1-R^2)(N-m-1)} \qquad \textbf{(4.17)}$$

F istatistiği serbestlik derecesi N-(m+1) olan bir F dağılımıdır. Burada seçilen anlamlılık düzeyinde hipotezin reddedilmesi değişkenler arasındaki anlamlı ilişkiyi işaret eder.

Bağımsız değişkenler arasında, bağımlı değişken ile en yüksek korelasyon katsayısına sahip olan değişken seçilir ve regresyon denklemi belirlenir. Daha sonra diğer değişkenlerden de eklenerek korelasyon katsayısı üzerinde önemli artış yapıp yapmadığına bakılır. En büyük artışa neden olan değişken eklenerek regresyon denklemi yeniden oluşturulur. Bu şekilde doğru değişkenler seçilene kadar bu deneme yapılır. Bu yöntem adım adım regresyon olarak adlandırılır.

Bütün değişkenler eklenerek regresyon denkleminin katsayıları bulunur. Bununla birlikte her bir değişkene ait t istatistiği hesaplanır. Bu değerler belirlenen regresyon

katsayılarının sıfırdan olan farklarının bir göstergesidir. Sonra hesaplanan t istatistiği en büyük olan değişken için basit regresyon denklemi belirlenir. Devamında ikinci büyük t istatistiğine sahip değişken eklenerek regresyon denklemi elde edilir. Çok değişkenli doğrusal regresyonda bağımsız değişken sayısı arttıkça katsayıların örnekleme dağılımlarının varyansları (S_{ey}^2) artacaktır. Bu da tahminlerin regresyon doğrusundan uzaklaştığının bir ölçüsü olduğu için buradan en iyi bağımsız değişken sayısına sahip regresyon denklemi seçilir.

4.2.1.3 Doğrusal olmayan regresyon

Değişkenler arasındaki ilişkinin doğrusal olmaması durumunda aradaki ilişkiyi ifade etmekte kullanılan regresyon yöntemidir. Değişkenler arasında doğrusal bir ilişki olmadığı belirlense bile belli güven aralıklarında çok hatalı olmayan sonuçlar elde etmek beklenebilir bir durumdur. Ancak yapılacak kabullerin aradaki doğrusal bağımlılık ilişkisini gerçekte yansıtmayacak derecede olması ve gerçek durumundan uzaklaşması yapılan tahminlerde hata oranının yükselmesine neden olacağından doğrusal olmayan regresyon yöntemini kullanmak daha faydalı olacaktır.

5. ÖLÇÜMLERİN YAPILMASI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Serbest su yüzeylerinden olan buharlaşma ile süblimleşme yoluyla gerçekleşen kütle kayıplarının meteorolojik değişkenlerle olan ilişkisinin araştırılması çalışması deneysel olarak yapılmış bir çalışmadır. Açık arazi şartlarında yapılan ölçümler ve otomatik istasyondan elde edilen veriler ile değerlendirmeye gidilmiştir. Çalışma yılın en sıcak üç ayında yapılmıştır. Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında buharlaşma havuzundan olan buharlaşma değerleri ve silindirik kaptan olan süblimleşme ölçülmüş, otomatik istasyondan da sıcaklık, bağıl nem, rüzgar, güneş radyasyonu değerlerini elde edilmiştir.

5.1 Ölçüm Alanı ve Periyodu

Bu tez çalışmasındaki ölçümler İstanbul Teknik Üniversitesi Meteoroloji Mühendisliği Bölümü'ne bağlı meteoroloji parkında 2 Haziran 2011 – 2 Eylül 2011 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. Süblimleşebilen maddeden ve buharlaşma havuzundan olan ölçümler 10:00, 15:00 ve 20:00 saatlerinde yapılmıştır. Bu saatlerde güneşin doğuşundan batışına kadar olan sürede buharlaşma ve süblimleşmedeki değişimin daha iyi gözlemlenebileceği diğer bir deyişle gün içindeki artış ve azalışının gözlemlenebileceği düşünülmüştür. Ölçümlerin başlangıç tarihinden bitiş tarihine kadar naftalin maddesinin süblimleşmesi sonucunda olan kütle kaybı ölçülmüştür. Naftaline alternatif olarak başka maddeler de denenmiştir. Bunlar mentol ve kâfur maddeleridir.

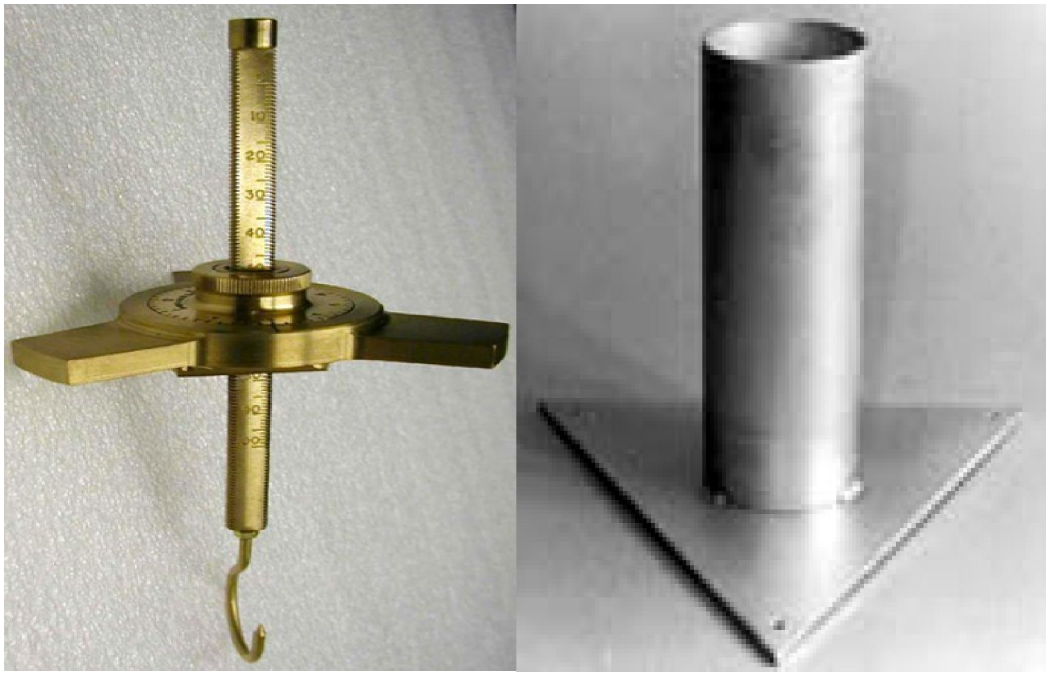
Çizelge 5.1 : Süblimleşme kaplarının değişim tarihleri.

	Naftalin	**Mentol**	**Kafur**
Kap 1	2 Haziran - 17 Temmuz	9 Haziran - 3 Temmuz	16 Temmuz - 17 Ağustos
Kap 2	18 Temmuz - 22 Ağustos	-	18 Ağustos - 2 Eylül
Kap 3	22 Ağustos - 26 Ağustos	-	-
Kap 4	26 Ağustos - 2 Eylül	-	-

Meteorolojik değişkenlerin (sıcaklık, bağıl nem, rüzgar hızı ve güneş radyasyonu) ölçümleri meteoroloji gözlem parkındaki otomatik istasyonlardan 2 metre yükseklikte elde edilmiştir.

5.2 Deney Düzeneği

Çalışmada kullanılan deney düzeneği, buharlaşma havuzu, stilwell ve hookgauge aletleri, silindirik kap ve silindirik kabı havuz yüzeyi seviyesinde tutacak düzenekten oluşmuştur. Buharlaşma ölçümleri için A-Tipi çapı 120,7 cm olan buharlaşma havuzu kullanılmıştır. Buharlaşma ölçümleri havuz içerisine yerleştirilmiş stillwell ve hookgauge aletleri ile yapılır (**Şekil 5.1**). Hassas su seviyesi ölçümleri elde edebilmek için hookgauge kullanılmıştır. Hookgauge, buharlaşma havuzundan olan su seviyesi değişimlerini 1/1000 hassasiyetinde ölçebilen üzerinde mikrometre çarkı bulunan bir alettir. Bununla birlikte buharlaşma havuzu içerisine konulan stillwell aleti de havuz içerisindeki dalgalanmanın önlenmesini sağlar. Ölçüm hookgauge aletinin stillwell üzerinde koyularak ucundaki kancanın su yüzeyi ile teğet duruma gelene kadar aletin ortasındaki çarkın çevrilmesi ile sağlanır. Kanca su yüzeyine teğet durumdayken okuma yapılır.



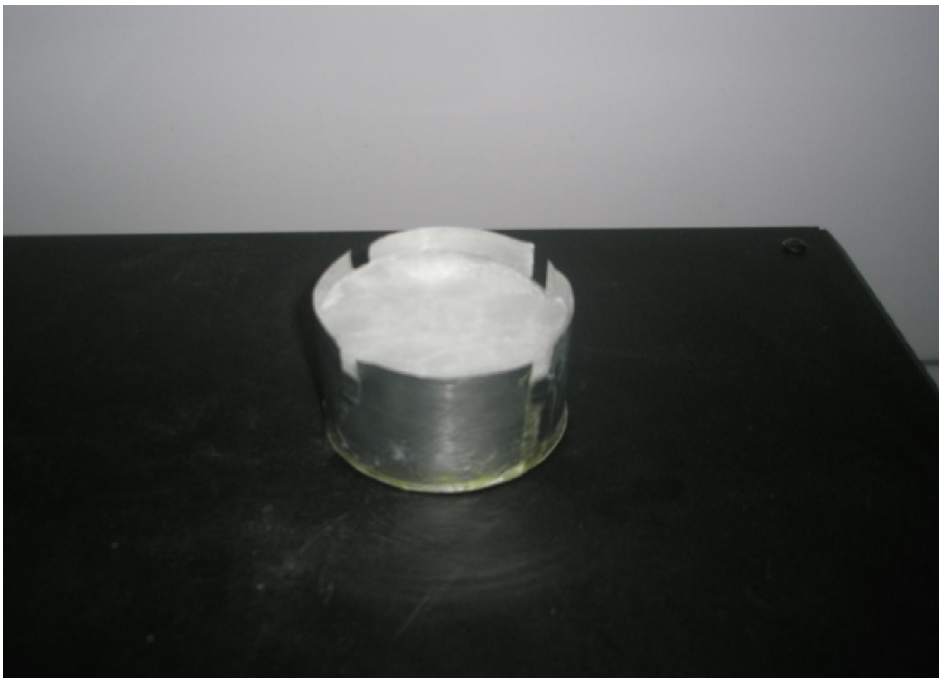
Şekil 5.1 : Hookgauge ve stillwell aletleri.

Süblimleşme ölçümleri buharlaşma havuzunun bir metre uzağına kurulan ölçüm düzeneği üzerinde yapılmıştır (**Şekil 5.2**). Ölçümler silindirik kaplar (**Şekil 5.3**)

içerisine ayrı ayrı konulan süblimleşme özelliğine sahip 3 farklı maddeyle yapılmıştır. Bunlar sırasıyla naftalin, mentol ve kâfur maddeleridir. Naftalin ve mentol maddeleri kaplara ısıtma yoluyla eritilerek doldurulmuştur. Kafur maddesinin erime sıcaklığı yüksek olduğundan ve erime sıcaklığının altında madde alevlenmeye başladığı için asetonla çözülerek kaplara yerleştirilmiştir.



Şekil 5.2 : Ölçüm düzenekleri ve buharlaşma havuzunun arazideki konumu.



Şekil 5.3 : Süblimleşme ölçüm kabının yakından görünüşü

Süblimleşme yüzeyinden olan kütle taşınımını belirleyebilmek için Precisa XB 220A modeli analitik hassas tartı kullanılmıştır. Bu tartıyla süblimleşme 1/10000 hassasiyetinde yapılabilmiştir (**Şekil 5.4**). Bunun yanında tartı 220 gr ağırlığa kadar olan ölçümlere duyarlı ve ölçüm haznesi 8 cm çapında dairesel bir şekle sahiptir. Dolayısıyla süblimleşme ölçümlerinde kullanılan kapların şekil ve ağırlıkları bunlar dikkate alınarak hazırlanmıştır.

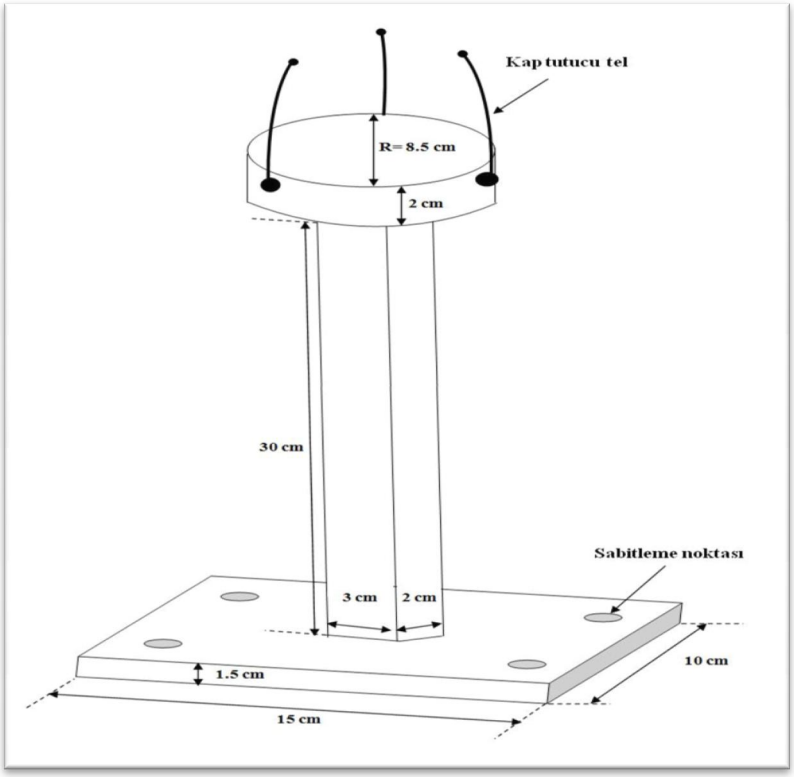


Şekil 5.4 : Precisa XB 220A modeli analitik hassas terazi

Düzenek hazırlanırken buharlaşma ve süblimleşme yüzeylerinin aynı hava akış koşullarından etkilenebilmesi için yerden 30 cm yükseklikte tutulmuştur. Daha sonra ölçüm kabının kaymasını önleyecek tırnaklar eklenmiş (**Şekil 5.5**). Düzenek tahta malzemeden yapılarak üzeri beyaz renge boyanmıştır ve yere dik bir şekilde 4 tane 15 cm'lik vida ile toprağa sabitlenmiştir (**Şekil 5.6**). Üzerinin boyanmasındaki amaç ısıl iletkenliğin fazla olmamasını sağlamak ve süblimleşme üzerindeki yanıltıcı etkiyi kaldırmaktır.

Süblimleşme yüzeyinin su ile örtülmesi süblimleşmeyi durduracağı için yağışlı günlerde kabın üzerinin su ile dolmasını önlemek amacıyla kabın kenarları yüzey seviyesine kadar kesilmiştir. Ayrıca ölçüm kaplarının üzerinin tozlanması da süblimleşmeyi etkileyecek bir durumdur. Bunun için kabın üzeri düzenli olarak temizlenmiştir. Temizleme sırasında kütledeki azalma ölçümlerde göz önünde bulundurulmuştur. Süblimleşme ölçümleri için güneş radyasyonunun etkisini göz

ardı etmeden ölçüm kabını yağmur ve tozlanmaya karşı koruyacak bir sistem geliştirilememiştir. Bu nedenle düzeneğin üzerinin açık olması tercih edilmiştir.





Şekil 5.6 : Ölçüm düzeneğinin yakın görünüşü.

Ölçüm düzeneği ve havuz, meteoroloji ölçüm parkında herhangi bir cisim tarafından hava akışının önlenmeyeceği bir şekilde alana yerleştirilmiştir (**Şekil 5.7**).



Şekil 5.7 : Ölçüm düzeneği ve havuzun meteoroloji istasyonundaki konumu.

5.3 Ölçümlerde Karşılaşılan Problemler

Arazideki ölçümler boyunca süblimleşebilen maddelerle ilgili bazı problemler yaşanmıştır. Bunlar kısaca ölçüm kabının şekli, yağışlı günlerin etkisi, çiy etkisi, maddelerin eritilme sırasındaki ısıl farklılıklarından kaynaklanan problemler olarak özetlenebilir.

Süblimleşebilen maddenin döküldüğü kaplar alüminyum malzemeden oluşturulmuş ve çapı, ölçümün yapılacağı tartının haznesi 8 cm çapında olduğu için yaklaşık olarak 8 cm tutulmaya çalışılmıştır. Tartma haznesinin genişliğinin düşük olması nedeniyle kaplar elde özel olarak hazırlanmıştır. Bu nedenle ölçümün yapılacağı her kap bire bir özdeş değildir. Bu durum süblimleşme yüzeyinin değişmesi ile ilgili sorunlar yaratabilmektedir.

İkinci olarak yağmurla ilgili sorunlarla ölçümler sırasında karşılaşılmıştır. Kabın ıslaklığı her ne kadar da silme yoluyla giderilmeye çalışılmışsa da yağışlar sonucunda kabın içine sızan nem tam anlamıyla giderilememiştir. Bu durum yağışlı günlerde kabın ağırlığının artış göstermesine neden olmuştur. Kap üzerine gelen güneş radyasyonunun ve rüzgarın türbülans etkisinin süblimleşmedeki değişime olan katkılarının ortadan kalkmasını önlemek amacıyla düzeneğin üzerinin örtülmemesi

tercih edilmiştir. Sonuç olarak yağışlı günlere ait verilerde hatalı olarak kabul edilip çıkarılmak zorunda kalınmıştır.

Sabahları özellikle kafur süblimleşmesi ölçümlerinde çiy ile ilgili problemler yaşanmıştır. Çiyle ilgili olarak İsrail'de yapılan bir çalışmada (Heusinkveld vd.,2006) yapılan ölçümlerde mikro lizimetre biriktirme haznesinde tek seferde 0.4 mm derinliğine kadar su toplanmıştır. Kap yüzeyinde biriken çiy kapta kütle artışlarına sebep olmuştur ve ölçümlerde negatif kütle kayıpları elde edilmiştir. Fakat buharlaşmayla birlikte gün içerisinde bu hata önemli oranda ortadan kalkmıştır.

Üç aylık ölçüm periyodu boyunca 4 kap naftalin kullanılmıştır. Bu kaplardan ilk iki tanesi aynı zamanda eritilip dökülmüş olmasına rağmen üçüncü ve dördüncü kaplar sonradan dökülmüştür. Farklı zamanlarda yapılan eritilme işlemleri arasında ısıl farklılıklar olabileceğinden bu durum kaplardaki aynı maddenin katı hale geldikten sonra birbiriyle özdeşliğinin de yitirilmesine neden olmaktadır. Yani aynı açık alan koşullarında farklı süblimleşme değerlerinin ölçülmesi söz konusu olmuştur.

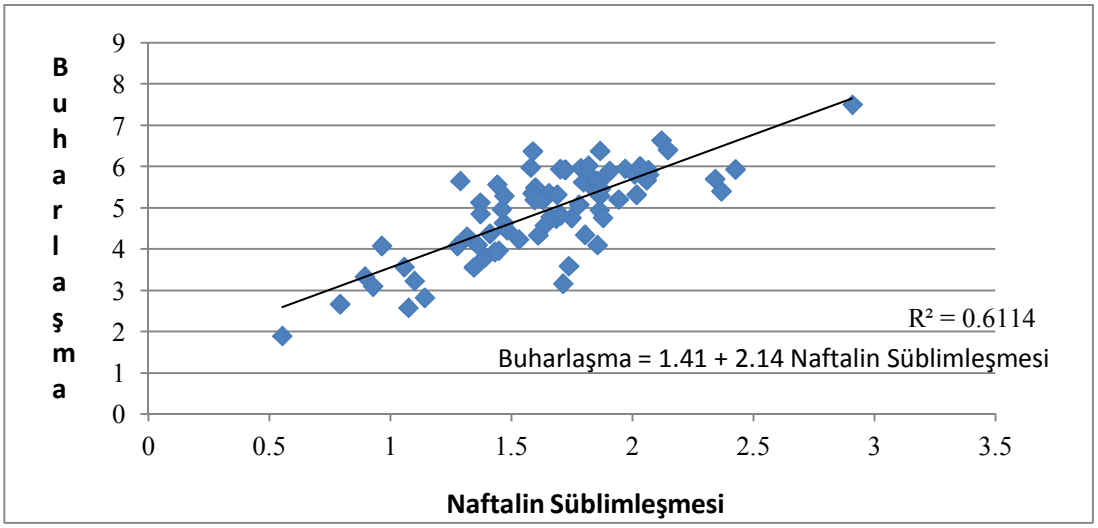
Ayrıca kâfur maddesinin ölçüm kabına eritilmesiyle ilgili sorunlar yaşanmıştır. Kâfur 180 ^{o}C sıcaklıkta eriyebilen bir madde olmasına rağmen parlama noktası sıcaklığı daha düşük olduğundan erime sıcaklığında madde külleşmiştir. Dolayısıyla kâfuru eritmeden kalıp içerisinde asetonla çözme yoluna gidilmiştir. Bu yolla kâfur kabın şeklini alarak katı hale gelmiştir.

5.4. Analiz Sonuçları

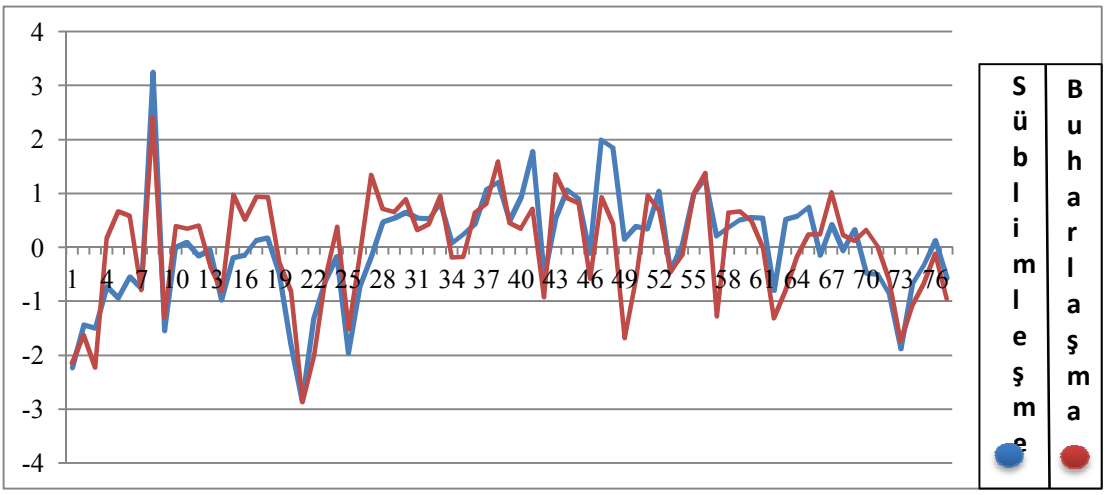
İstatistiksel analiz yapılmadan önce elde edilen veriler düzenlenmiştir. İlk olarak yağışlı günlerde ölçülen negatif süblimleşme sonuçlarından dolayı bu günlere ait veriler çıkarılmıştır. Sonra günün ağırlıklı olarak güneşli saatleri olan 10:00-20:00 saatleri arasında verilerin toplam ve ortalama değerleri hesaplanmıştır.

2 Haziran 2011 – 2 Eylül 2011 tarihleri arasında elde edilen verilere analiz yapılmıştır. Bunun sonucunda buharlaşma ile naftalin süblimleşmesi arasındaki ilişkiyi açıklamada determinasyon katsayısı 0.611 bulunmuştur. Saçılma diyagramından görüldüğü üzere buharlaşma ve naftalin süblimleşmesi arasında doğrusal bir ilişki olduğu anlaşılmaktadır (**Şekil 5.8**). Buharlaşma ve naftalin süblimleşmesine ait zaman serisine bakıldığında ölçüm periyodu boyunca

buharlaşma ve süblimleşmedeki artış ve azalışların yaklaşık olarak ayni yönlü olduğu görülmektedir (**Şekil 5.9**).



Şekil 5.8 : 2 Haziran 2011 – 2 Eylül 2011 tarihleri arasındaki buharlaşma ve naftalin süblimleşmesine ait saçılma diyagramı.



Şekil 5.9 : 2 Haziran 2011 - 2 Eylül 2011 tarihleri arasındaki normalleştirilmiş buharlaşma ve naftalin süblimleşmesi değerleri.

8 Haziran 2011 - 17 Temmuz 2011 tarihleri arasında ilk naftalin kabı örneğinden ölçülmüş veriler ile aynı tarihler arasında yapılan serbest su yüzeyinden olan buharlaşma değerleri arasında basit regresyon analizi yapılmıştır. Buharlaşma bağımlı değişken olarak, naftalin süblimleşmesi ise bağımsız değişken olarak seçilmiştir. Analiz sonucunda R^2=0.778'lik bir determinasyon katsayısı elde edilmiştir. Buharlaşma ve naftalin süblimleşmesi arasındaki ilişki **Şekil 5.11**'deki

saçılma diyagramında da görülmektedir. Analizi yapılan naftalin süblimleşmesi ve buharlaşma değerlerinin zaman içindeki değişimlerini gösteren grafik **Şekil 5.10**'da verilmiştir.

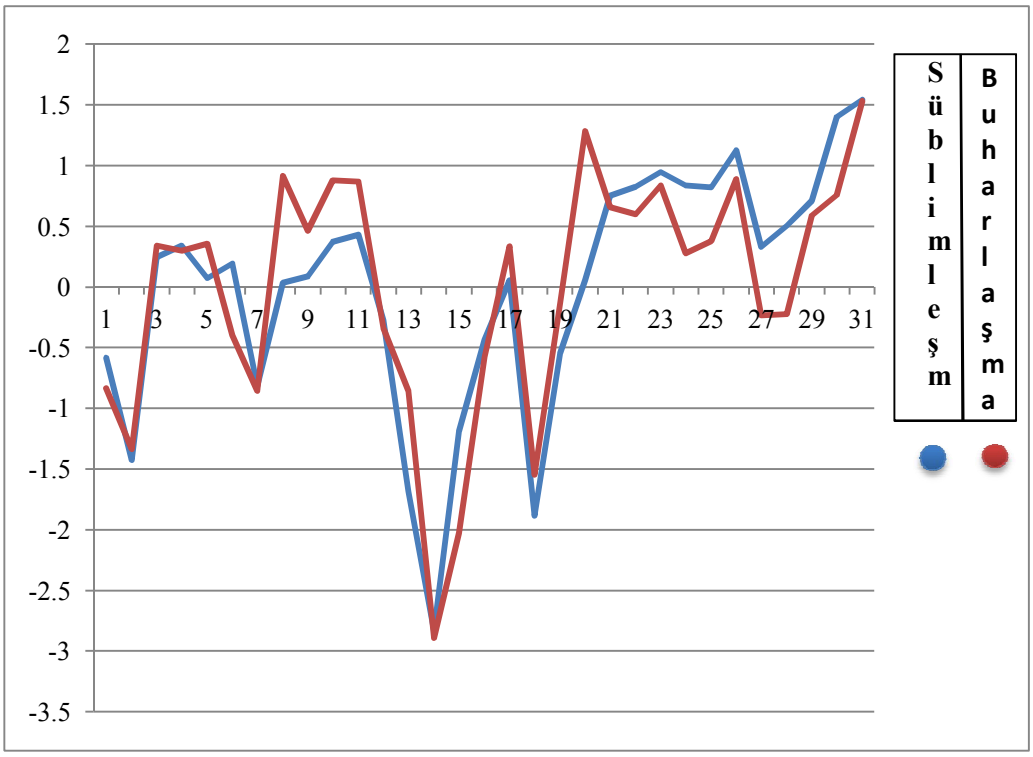
Sonrasında iki değişkenli doğrusal regresyon analizi yapılmıştır. Naftalin verileriyle birlikte, sırayla ortalama sıcaklık, ortalama bağıl nem, ortalama rüzgar hızı ve son olarak da toplam güneş radyasyonu verileri eklenerek iki değişkenli doğrusal regresyon analizi yapılmıştır. Naftalin ve toplam güneş radyasyonunun bağımsız değişken olarak seçildiği analiz sonucunda R^2=0.826, naftalin ve ortalama rüzgâr hızının bağımsız değişken olarak seçildiği analiz sonucunda R^2=0.788, naftalin ve ortalama bağıl nemin bağımsız değişken olarak seçildiği analiz sonucunda R^2=0.786, ve naftalinle ortalama sıcaklığın bağımsız değişken olarak seçildiği analiz sonucunda R^2=0.78 olarak bulunmuştur.

Son olarak naftalin süblimleşmesi, ortalama sıcaklık, ortalama bağıl nem, ortalama rüzgâr hızı ve toplam güneş radyasyonu bağımsız değişken olarak kullanılarak beş değişkenli bir doğrusal regresyon analizi yapılmıştır. Sonuç olarak determinasyon katsayısı R^2=0.882 değerine yükselmiştir.

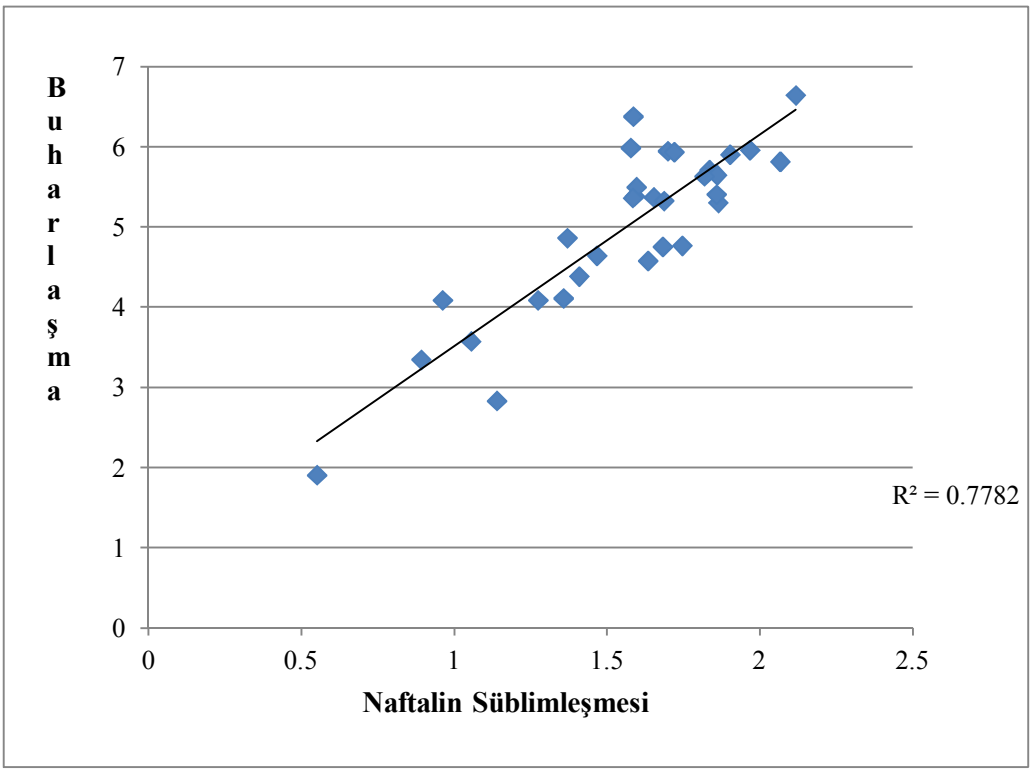
Değişken sayısına göre yapılan analizler sonucunda elde edilen regresyon denklemleri ve determinasyon katsayıları aşağıdaki çizelgede gösterilmiştir (**Çizelge 5.2**). Elde edilen regresyon denklemlerine ait ek istatistikler ekler bölümünde verilmiştir (**Ek A**).

Çizelge 5.2 : 8 Haziran 2011 - 17 Temmuz 2011 arasındaki veriler için yapılan basit ve çoklu doğrusal regresyon analizi sonuçları.

Bağımsız Değişken sayısı	Regresyon denklemi	R^2
1	B = 0.870 + 2.64 S	0.778
2	B = 1.44 + 2.75 S – 0.0279 T	0.78
2	B = 1.45 + 2.65 S - 0.0106 RH	0.786
2	B = 0.814 + 2.43 S + 0.196 V	0.788
2	B = - 0.085 + 1.71 S + 0.000393 GR	0.826
3	B = - 0.26 + 1.67 S + 0.0082 T + 0.000397 GR	0.826
3	B = - 0.113 + 1.55 S + 0.172 V + 0.000385 GR	0.833
3	B = 0.425 + 1.74 S - 0.00883 RH + 0.000384 GR	0.831
4	B = 1.79 + 1.26 S - 0.0341 RH + 0.589 V + 0.000328 GR	0.872
5	B = - 2.59 + 0.070 S + 0.178 T - 0.0260 RH + 0.894 V + 0.000413 GR	0.882

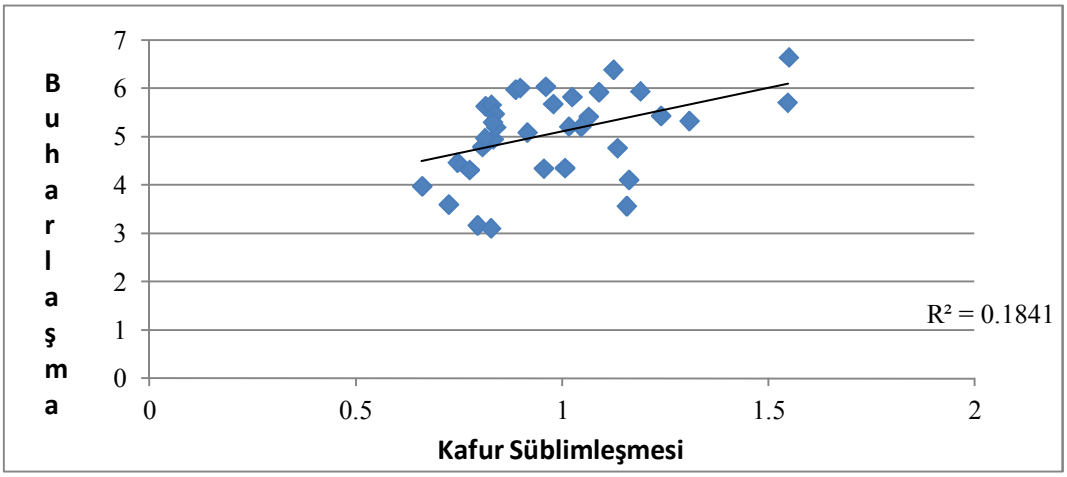


Şekil 5.10 : 8 Haziran 2011 - 17 Temmuz 2011 tarihleri arasındaki normalleştirilmiş buharlaşma ve naftalin süblimleşmesi değerleri.

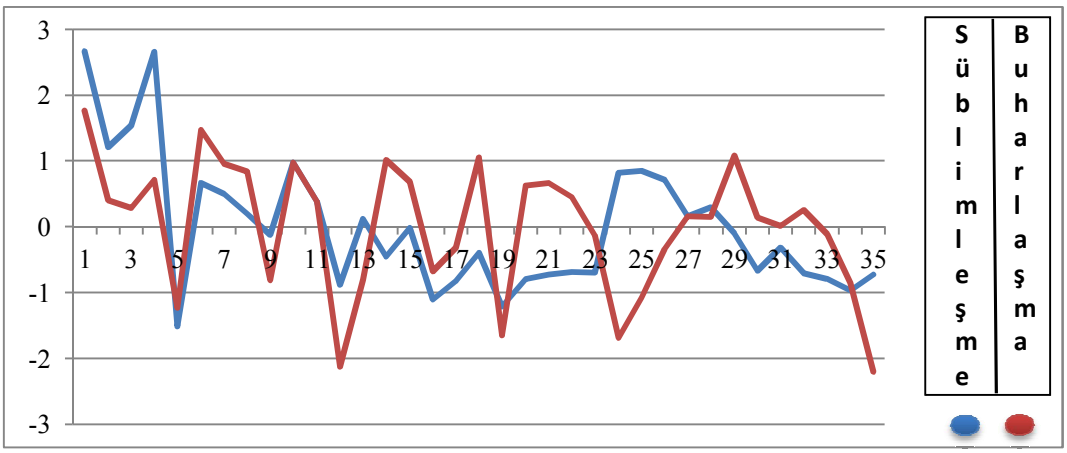


Şekil 5.11 : 8 Haziran 2011 - 17 Temmuz 2011 tarihleri arasındaki buharlaşma ve naftalin süblimleşmesine ait saçılma diyagramı.

Yapılan tüm analizler sonucunda elde edilen koralasyon katsayıları için bulunan *t* istatistikleri ekler kısmında verilmiştir (**Ek A**). 2 Haziran 2011 - 2 Eylül 2011 arasında ölçülmüş naftalin süblimleşmesi ve buharlaşma verileri ile yapılan regresyon analizi sonucunda t = 10.76 olarak bulunmuştur. Buradan H_o: $\sigma_{xy} = 0$ testi yapılırsa % 95 güvenilirlik düzeyinde 76 adet veri ile student-t dağılımı tablosundan $t_{(0.025,\ 75)}$ =1.995 olarak belirlenmiştir. Görüleceği üzere $t > t_{(0.025,\ 75)}$'tür. Böylelikle H_o: $\sigma_{xy} = 0$ testi reddedilmiş olur. 8 Haziran 2011 – 17 Temmuz 2011 tarih aralığında ilk naftalin ölçüm kabının kaldırılana kadar olan süre için buharlaşma ve süblimleşme verileri ile yapılan regresyon analizi sonucunda t=10.09 olarak bulunmuştur. % 95 güvenilirlik düzeyinde 31 adet veriyle student-t dağılımı tablosundan $t_{(0.025,\ 30)}$ =2.042 olarak belirlenmiştir. $t > t_{(0.025,\ 30)}$ olması sonucunda H_o: $\sigma_{xy} = 0$ testi buradan reddedilmiş olur.

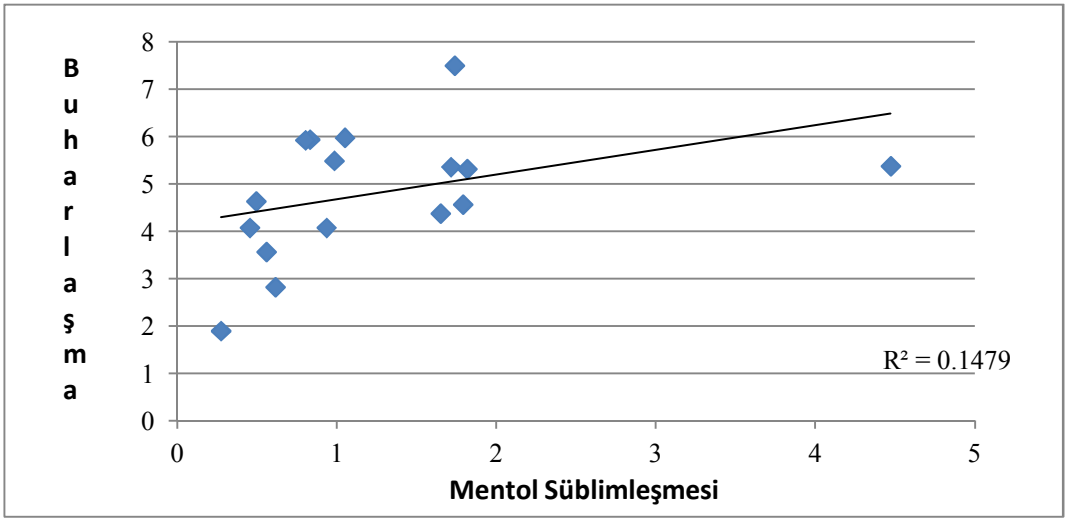


Şekil 5.12 : 17 Temmuz 2011 – 30 Ağustos 2011 tarihleri arasındaki buharlaşma ve kafur süblimleşmesine ait saçılma diyagramı.

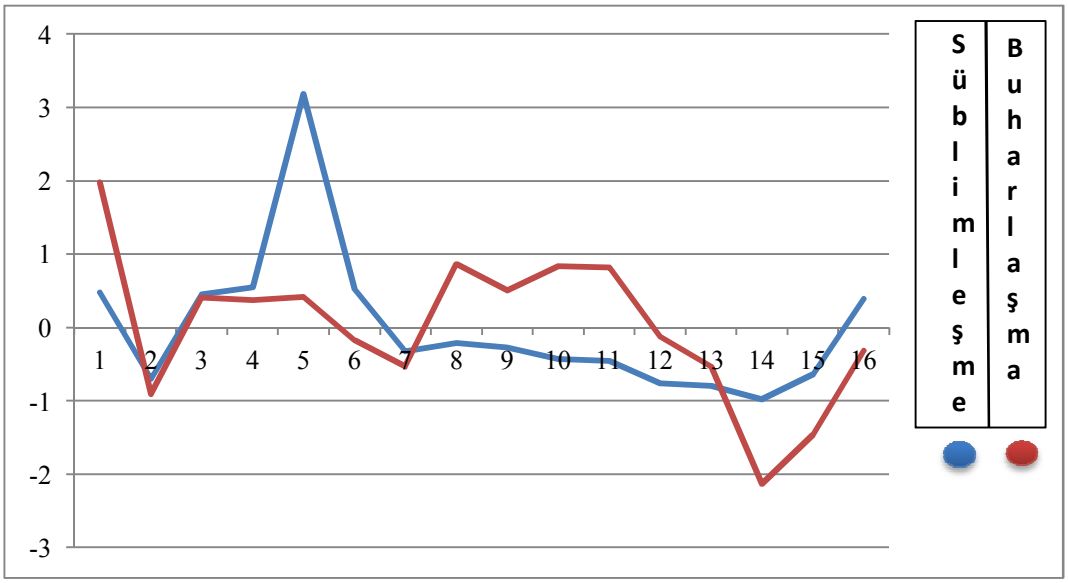


Şekil 5.13 : 17 Temmuz 2011 - 30 Ağustos 2011 tarihleri arasındaki normalleştirilmiş buharlaşma ve kafur süblimleşmesi değerleri.

Naftalin maddesine alternatif olarak ölçülen kafur maddesi ile buharlaşma arasında yapılan regresyon analizi sonucunda determinasyon katsayısı $R^2 = 0.1841$ olarak hesaplanmıştır. Kafur ve buharlaşmayla yapılan analize ait grafikler yukarıda gösterilmiştir **(Şekil 5.12, Şekil 5.13)**.



Şekil 5.14 : 9 Haziran 2011 - 1 Temmuz 2011 tarihleri arasındaki buharlaşma mentol süblimleşmesine ait saçılma diyagramı.



5.15 : 9 Haziran 2011 - 1 Temmuz 2011 tarihleri arasındaki normalleştirilmiş buharlaşma ve mentol süblimleşmesi değerleri.

Mentol maddesi ile yapılan ölçümler sonucunda determinasyon katsayısı $R^2 = 0.1479$ olarak bulunmuştur. Mentolün ayrıca zaman içerisindeki değişimi de incelenmiştir **(Şekil 5.15)**. Mentol ve buharlaşmaya ait saçılma diyagramı **Şekil 5.14**'te verilmiştir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

8 Haziran 2011- 17 Temmuz 2011 tarihlerinde yalnızca buharlaşma ve naftalin süblimleşmesi verileri arasında yapılan regresyon analizi sonucunda determinasyon katsayısı R^2= 0.778 olarak bulunmuştur. Bu değer değişkenler arasında doğrusal bağımlılığın güçlü olduğunu göstermektedir.

Buharlaşmayı açıklamada meteorolojik değişkenlerin her birinin naftalinle birlikte nasıl bir etki yaratacağını belirlemek için regresyon denkleminde bağımsız değişken sayısı artırılarak determinasyon katsayısındaki değişim incelenmiştir. Bunun sonucunda buharlaşmayı açıklamada naftalinle güneş radyasyonu diğer meteorolojik değişkenlere göre daha iyi bir grup oluşturmuştur. Ayrıca meteorolojik değişkenler arasında buharlaşmayı açıklamada en düşük katkının ortalama sıcaklıktan geldiği belirlenmiştir.

Naftalin süblimleşmesi ile birlikte tüm meteorolojik değişkenlerin regresyon denklemine katılması sonucunda R^2=0.882 değerine yükselmiştir. Buradan serbest su yüzeylerinden olan buharlaşmanın naftalin süblimleşmesi yoluyla açıklanmasında sıcaklık, bağıl nem, rüzgar hızı, güneş radyasyonu gibi meteorolojik değişkenlerin de önemli olduğu sonucuna varılmıştır.

Teorik anlamda naftalin süblimleşmesi, havanın bağıl nem oranı dışındaki diğer meteorolojik değişkenlerinden buharlaşmayla benzer oranda etkilenir. Fakat yapılan istatistiksel analiz sonucunda buharlaşmanın açıklanabilmesinde naftalin süblimleşmesiyle bağıl nem için 0.786'lık bir determinasyon katsayısı hesaplanmıştır.

Çalışma boyunca yapılan mentol ve kafur ölçümleri ile buharlaşma arasında düşük determinasyon katsayıları hesaplanmıştır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlarla kafur ve mentol maddelerinin serbest su yüzeyinden olan buharlaşmayı açıklamada yeterli olmadıkları sonucuna ulaşılmıştır.

Naftalin süblimleşme ölçümleri boyunca 4 kez kap değişimi yapılmıştır. Değişimden sonra yapılan yeni ölçüm verilerinin standartlaştırılmış hallerinde buharlaşma

ölçümlerine göre sapmalar gerçekleşmiştir. Yani kapların değişimi analiz sonuçlarını etkilemiştir. İlk kabın kaldırılış tarihine kadar yapılmış ölçümlerde yüksek bir ilişki hesaplanırken tüm verilerle yapılan analiz sonucunda daha düşük bir determinasyon katsayısı bulunmuştur. Ölçümler için özdeş ve daha büyük hacim tutabilecek süblimleşme kapları kullanılması süblimleşme yüzeyiyle ilgili sorunları çözmeye imkân tanıyacaktır. Ayrıca daha büyük kaplar kullanmak kabın daha uzun sürede değişimine imkan sağlayacaktır. Bu durum, farklı zamanlarda dökülen maddelerin döküm anındaki ısıl farklılıklardan dolayı oluşacak süblimleşme problemlerini aşmakta yardımcı olacaktır.

Bir önceki bölümde de bahsedildiği gibi çalışma boyunca birçok problem ile karşılaşılmıştır. Bunların başında yağışlı günlerdeki veri kaybı sorunu gelmektedir. Bu sorun çalışma boyunca giderilememiştir. Bununla birlikte ölçüm düzeneği üzerini örtecek şekilde süblimleşme kabından belli bir yükseklikte yerleştirilecek güneş radyasyonunu yüksek oranda geçirebilecek özel bir cam ile bu sorunun giderilebilmesi söz konusudur.

Yapılan bu çalışmada kâfur maddesi naftaline alternatif olabilecek bir madde olarak görünmektedir. Kâfur maddesiyle yapılan ölçümlerden elde edilen değerler naftalin maddesiyle yapılan ölçümlerden elde edilen değerlere oranla daha düşük çıkmıştır. Buna neden olarak kâfurun kimyasal özellikleri gösterilebilir. Kafurun kaplara eritilmesi ile ilgili sorunlar giderildikten sonra daha sağlıklı ölçümler elde edilebileceği ve buharlaşmayla kafur süblimleşmesi arasında daha yüksek bir korelasyon bulunabileceği görülmektedir. Mentol maddesi sıcak aylarda erimeye başlamasından dolayı kısa zamanda ölçümden kaldırılmıştır. Buna rağmen soğuk aylarda yapılacak ölçümlerde kullanılmasıyla buharlaşmanın açıklanmasında daha yeterli sonuçlar elde edilebilmesi mümkündür.

KAYNAKLAR

Bayazıt, M., Avcı, İ. ve Şen, Z., 2001. Hidroloji Uygulamaları, Birsen Yayınevi, İstanbul.

Bernier, Y. P., 1987. Low Cost Wind Speed Measurements Using Naphthalene Sublimation, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology,* **Vol. 5,** pp 662-665.

Çelik, N. and Eren, H., 2002. Naftalin Süblimleşme Tekniğinin Isı Transferi Uygulamalarında Kullanılması, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, Türk Isı Bilimi ve Tekniği Derneği, Türkiye.

Goldstein, J. R. and Cho, H. H., 1995. A Review of Mass Transfer Measurements Using Naphthalene Sublimation, *Experimental Thermal and Fluid Science,* **Vol. 10,** pp 416-434.

IPCC, 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 54-55.

Gunaji, N.N., 1965. Evaporation Reduction Investigations: Elephant Butte Reservoir. New Mexico Engineering Experimental Station, Las Cruces, New Mexico State University, Technical Report **No. 25.**

Heusinkveld, G. B., Berkowicz, M. S., Jacops, G. F. A., Holtslag, M. A. A. and Hillen, M. A. C. W., 2006. An Automated Microlysimeter to Study Dew Formation and Evaporation in Arid and Semiarid Regions, Journal of Hydrometeorology, **Vol. 7**, pp 825-832.

Rosenberry, O. D., Winter, C. T., Donald, C. B. and Likens, E. G., 2007. Comparison Of 15 Evaporation Methods Applied To A Small Mountain Lake In The Northeastern USA, *Journal of Hydrology,* **Vol. 340***,* pp. 149-166.

Koçak, K. and Çaldağ, B., 2009. An attempt to measure evaporation from a Class-A pan using naphthalene sublimation, *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences,* **Vol. 33**, pp 185-192.

Kohler, M.A., Nordenson, T. J. and Fox, W. E., 1959. "Evaporation maps for the United States." Technical Paper No. 37, Weather Bureau, U.S. Dept. of Com., 15 pp plus five maps.

Llansadwrn (Anglesey) Weather. (1999). Use and construction of a lysimeter to measure evapotranspiration. Retrieved from http://www.llansadwrn-wx.co.uk/evap/lysim.html

Mendes, S. R. P., 1991. The Naphthalene Sublimation Technique, Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, Brazil.

Mutreja, K.N., 1986. Applied Hydrology. Tata McGraw-Hill, New Delhi.

Novalynx Corporation Group. (nd.). 255 Evaporation Stations. Retrieved from http://www.novalynx.com/pdf/255-stations.pdf

Nyadawa, O. M., Mayabi, O. A. and Kimathi M., 2011. The Effect of Surface Albedo and Grain Size Distribution on Evaporation Loses in Sand Dams, Department of Civil Engineering, Jomo Kenyatta University of Agriculture and Technology, Nairobi.

Schmitt, W. R., 2008. ”Salinity and the Global Water Cycle” *Oceanography,* **Vol. 21**, No. 1, pp. 12-19.

Singh, P. V. and Xu, -Y. C., 1997. Evaluation and Generalization of 13 Mass-Transfer Equations for Determining Free Water Evaporation, *Hydrological Processes,***Vol. 11,** pp. 311-323.

Sparrow ,M. E. and Lovell, J. B., 1980. Heat Transfer Characteristics of An Oblique Impinging Circular Jet, *Journal of Heat Transfer*, **Vol. 102**, No. 2, pp. 202–209.

Sublimation. (n.d.). In Encyclopedia Wikipedia. Retrieved from http://en.wikipedia.org/wiki/Sublimation_%28phase_transition%29

Terresterial Environmental Observatories. (2010) Die letzten Lysimeter sind im Boden http://www2.fz-juelich.de/portal/meldungen/lysimeter-10-09-28

WMO, 2003. Manual on the Global Observing System. **Vol.1**, WMO-No. 544, Geneva, Switzerland.

WMO, 2008. Guide to Hydrological Practices. **Vol. 1,** WMO-No. 168, Sixth Edition, Geneva, Switzerland.

WMO, 2008. Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation. WMO-No. 8, Seventh Edition, Geneva, Switzerland.

Yoo, Y. S., Park, H. J., Chung, H. C. And Chung, K. M., 2003. An Experimental Study on Heat/Mass Transfer From a Rectangular Cylinder, *Journal of Heat Transfer,* **Vol. 125,** pp. 1163-1169.

EKLER

Ek A: REGRESYON ANALİZİ HESAPLAMALARINA AİT İSTATİSTİK SONUCLARI (MINITAB V1.4)

Ek B: ANALİZDE KULLANILAN VERİLER

Ek A: REGRESYON ANALİZİ HESAPLAMALARINA AİT İSTATİSTİK SONUCLARI(MINITAB V1.4)

(2 Haziran 2011-2 Eylül 2011)

The regression equation is
Buharlaşma = 1.44 + 2.13 Naftalin Süblimleşme

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	1.4397	0.3370	4.27	0.000
Naf	2.1329	0.1982	10.76	0.000

S = 0.666658 R-Sq = 61.0% R-Sq(adj) = 60.5%

PRESS = 34.5437 R-Sq(pred) = 59.04%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	51.456	51.456	115.78	0.000
Residual Error	74	32.888	0.444		
Total	75	84.344			

;

(8 Haziran 2011-17 Temmuz 2011)

The regression equation is
Buharlaşma = 0.870 + 2.64 Naftalin Süblimleşme

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.8703	0.4202	2.07	0.047
Naftalin Süblimleşme	2.6422	0.2619	10.09	0.000

S = 0.512975 R-Sq = 77.8% R-Sq(adj) = 77.1%

PRESS = 8.65990 R-Sq(pred) = 74.83%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	26.773	26.773	101.74	0.000
Residual Error	29	7.631	0.263		
Total	30	34.404			

;

The regression equation is
Buharlaşma = 1.44 + 2.75 Naftalin Süblimleşme - 0.0279 Sıcaklık

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	1.443	1.440	1.00	0.325
Naftalin Süblimleşme	2.7467	0.3654	7.52	0.000
Sıcaklık	-0.02793	0.06704	-0.42	0.680

S = 0.520444 R-Sq = 78.0% R-Sq(adj) = 76.4%

PRESS = 9.20053 R-Sq(pred) = 73.26%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	26.820	13.410	49.51	0.000
Residual Error	28	7.584	0.271		
Total	30	34.404			

Source	DF	Seq SS
Naftalin Süblimleşme	1	26.773
Sıcaklık	1	0.047

;

The regression equation is
Buharlaşma = 1.45 + 2.65 Naftalin Süblimleşme - 0.0106 Bağıl Nem

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	1.4540	0.7130	2.04	0.051
Naftalin Süblimleşme	2.6498	0.2619	10.12	0.000
Bağıl Nem	-0.01055	0.01042	-1.01	0.320

S = 0.512742 R-Sq = 78.6% R-Sq(adj) = 77.1%

PRESS = 8.98108 R-Sq(pred) = 73.90%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	27.042	13.521	51.43	0.000
Residual Error	28	7.361	0.263		
Total	30	34.404			

Source	DF	Seq SS
Naftalin Süblimleşmesi	1	26.773
Bağıl Nem	1	0.270

;

The regression equation is
Buharlaşma = 0.814 + 2.43 Naftalin Süblimleşmesi + 0.196 Rüzgar Hızı

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.8142	0.4214	1.93	0.064
Naftalin Süblimleşmesi	2.4331	0.3209	7.58	0.000
Rüzgar Hızı	0.1961	0.1753	1.12	0.273

S = 0.510770 R-Sq = 78.8% R-Sq(adj) = 77.3%

PRESS = 8.91900 R-Sq(pred) = 74.08%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	27.099	13.549	51.94	0.000
Residual Error	28	7.305	0.261		
Total	30	34.404			

Source	DF	Seq SS
Naftalin Süblimleşmesi	1	26.773
Rüzgar Hızı	1	0.326

;

The regression equation is
Buharlaşma = - 0.085 + 1.71 Naftalin Süblimleşmesi + 0.000393 Güneş Radyasyonu

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-0.0848	0.5122	-0.17	0.870
Naftalin Süblimleşmesi	1.7146	0.4097	4.19	0.000
Güneş Radyasyonu	0.0003932	0.0001419	2.77	0.010

S = 0.462489 R-Sq = 82.6% R-Sq(adj) = 81.3%

PRESS = 7.10631 R-Sq(pred) = 79.34%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	28.415	14.207	66.42	0.000
Residual Error	28	5.989	0.214		
Total	30	34.404			

Source	DF	Seq SS
Naftalin Süblimleşmesi	1	26.773
Güneş Radyasyonu	1	1.642

;

The regression equation is
Buharlaşma = - 0.26 + 1.67 Naftalin Süblimleşmesi + 0.0082 Sıcaklık + 0.000397 Güneş Radyasyonu

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-0.264	1.450	-0.18	0.857
Naftalin Süblimleşmesi	1.6738	0.5185	3.23	0.003
Sıcaklık	0.00825	0.06212	0.13	0.895
Güneş Radyasyonu	0.0003975	0.0001480	2.69	0.012

S = 0.470822 R-Sq = 82.6% R-Sq(adj) = 80.7%

PRESS = 7.55021 R-Sq(pred) = 78.05%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	28.4186	9.4729	42.73	0.000
Residual Error	27	5.9852	0.2217		
Total	30	34.4038			

Source	DF	Seq SS
Naftalin Süblimleşmesi	1	26.7726
Sıcaklık	1	0.0470
Güneş Radyasyonu	1	1.5990

;

The regression equation is
Buharlaşma = - 0.113 + 1.55 Naftalin Süblimleşmesi + 0.172 Rüzgar Hızı + 0.000385 Güneş Radyasyonu

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-0.1128	0.5113	-0.22	0.827
Naftalin Süblimleşmesi	1.5521	0.4351	3.57	0.001
Rüzgar Hızı	0.1717	0.1585	1.08	0.288
Güneş Radyasyonu	0.0003845	0.0001417	2.71	0.011

S = 0.461065 R-Sq = 83.3% R-Sq(adj) = 81.5%

PRESS = 7.20194 R-Sq(pred) = 79.07%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	28.6641	9.5547	44.95	0.000
Residual Error	27	5.7397	0.2126		
Total	30	34.4038			

Source	DF	Seq SS
Naftalin Süblimleşmesi	1	26.7726
Rüzgar Hızı	1	0.3264
Güneş Radyasyonu	1	1.5651

;

The regression equation is
Buharlaşma = 0.425 + 1.74 Naftalin Süblimleşmesi - 0.00883 Bağıl Nem + 0.000384 Güneş Radyasyonu

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.4255	0.7491	0.57	0.575
Naftalin Süblimleşmesi	1.7423	0.4117	4.23	0.000
Bağıl Nem	-0.008829	0.009438	-0.94	0.358
Güneş Radyasyonu	0.0003842	0.0001426	2.69	0.012

S = 0.463524 R-Sq = 83.1% R-Sq(adj) = 81.3%

PRESS = 7.49826 R-Sq(pred) = 78.21%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	28.6027	9.5342	44.38	0.000
Residual Error	27	5.8011	0.2149		
Total	30	34.4038			

Source	DF	Seq SS
Naftalin Süblimleşmesi	1	26.7726
Bağıl Nem	1	0.2698
Güneş Radyasyonu	1	1.5603

;

The regression equation is
Buharlaşma = 1.79 + 1.26 Naftalin Süblimleşmesi - 0.0341 Bağıl Nem + 0.589 Rüzgar Hızı + 0.000328 Güneş Radyasyonu

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	1.7916	0.8182	2.19	0.038
Naftalin Süblimleşmesi	1.2638	0.4019	3.14	0.004
Bağıl Nem	-0.03412	0.01217	-2.80	0.009
Rüzgar Hızı	0.5893	0.2054	2.87	0.008
Güneş Radyasyonu	0.0003284	0.0001281	2.56	0.016

S = 0.411678 R-Sq = 87.2% R-Sq(adj) = 85.2%

PRESS = 6.14082 R-Sq(pred) = 82.15%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	4	29.9973	7.4993	44.25	0.000
Residual Error	26	4.4064	0.1695		
Total	30	34.4038			

Source	DF	Seq SS
Naftalin Süblimleşmesi	1	26.7726
Bağıl Nem	1	0.2698
Rüzgar Hızı	1	1.8411
Güneş Radyasyonu	1	1.1138

;

The regression equation is
Buharlaşma = - 2.59 + 0.070 Naftalin Süblimleşmesi + 0.178 Sıcaklık - 0.0260 Bağıl Nem + 0.894 Rüzgar Hızı + 0.000413 Güneş Radyasyonu

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-2.592	3.074	-0.84	0.407
Naftalin Süblimleşmesi	0.0696	0.8990	0.08	0.939
Sıcaklık	0.1775	0.1202	1.48	0.152
Bağıl Nem	-0.02601	0.01311	-1.98	0.058
Rüzgar Hızı	0.8940	0.2879	3.10	0.005
Güneş Radyasyonu	0.0004129	0.0001377	3.00	0.006

S = 0.402632 R-Sq = 88.2% R-Sq(adj) = 85.9%

PRESS = 5.86767 R-Sq(pred) = 82.94%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	5	30.3510	6.0702	37.44	0.000
Residual Error	25	4.0528	0.1621		
Total	30	34.4038			

Source	DF	Seq SS
Naftalin Süblimleşmesi	1	26.7726
Sıcaklık	1	0.0470
Bağıl Nem	1	1.0175
Rüzgar Hızı	1	1.0569
Güneş Radyasyonu	1	1.4570

;

(9 Haziran 2011- 25 Haziran 2011)

The regression equation is
Buharlaşma = 4.16 + 0.519 Mentol Süblimleşmesi

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	4.1619	0.5315	7.83	0.000
Mentol Süblimleşmesi	0.5195	0.3333	1.56	0.141

S = 1.30072 R-Sq = 14.8% R-Sq(adj) = 8.7%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	4.111	4.111	2.43	0.141
Residual Error	14	23.686	1.692		
Total	15	27.797			

;

(16 Temmuz 2011- 30 Ağustos 2011)

The regression equation is
Buharlaşma = 3.31 + 1.80 Kafur Süblimleşmesi

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	3.3053	0.6628	4.99	0.000
Kafur Süblimleşmesi	1.8036	0.6611	2.73	0.010

S = 0.818583 R-Sq = 18.4% R-Sq(adj) = 15.9%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	4.9880	4.9880	7.44	0.010
Residual Error	33	22.1126	0.6701		
Total	34	27.1006			

Ek B: ANALİZDE KULLANILAN VERİLER

Çizelge B1 : 10:00-20:00 saatleri arasındaki naftalin, buharlaşma ve atmosferik değişkenlere ait ölçüm değerleri.

Gün	Ay	Naft. (gr)	Buh. (mm)	Ort Sck. (oC)	Ort Bağ N. (%)	Ort Rüz H. (m/s)	Top Glob Rad. (W/m2)
2	Haziran	0.79	2.676	24.1545	61.26625	1.4242	4787.32
3	Haziran	1.0973	3.24	24.402	64.928	1.8552	6121.2
4	Haziran	1.0718	2.588	24.987	55.745	1.7382	6062.2
5	Haziran	1.3687	5.14	26.396	51.53	1.9606	6852.4
6	Haziran	1.2861	5.66	23.951	58.789	2.4621	7007.2
7	Haziran	1.4392	5.572	24.25	57.721	2.5523	6974.7
8	Haziran	1.3579	4.112	27.618	46.926	0.9461	5821.9
10	Haziran	1.0552	3.576	25.487	49.142	1.5268	3790.04
15	Haziran	1.653	5.372	24.416	63.73	2.353	7000.5
17	Haziran	1.6867	5.328	24.813	65.651	2.2504	6702.3
18	Haziran	1.5908	5.388	25.207	64.354	2.2961	6911.9
19	Haziran	1.6343	4.58	26.851	60.506	1.5309	6310.7
20	Haziran	1.2745	4.088	23.811	70.919	2.4731	4069.6
21	Haziran	1.5774	5.988	24.934	58.138	2.3235	7007.3
22	Haziran	1.5967	5.5	25.107	54.711	2.8578	6783.7
23	Haziran	1.699	5.948	26.118	53.895	2.6533	7012.4
24	Haziran	1.7198	5.936	25.739	61.655	2.8773	7095.2
25	Haziran	1.467	4.644	25.716	58.545	2.2027	6261.84
28	Haziran	0.9623	4.088	23.978	47.849	1.0749	5451.4
29	Haziran	0.551	1.908	21.557	56.924	1.0262	3109
30	Haziran	1.1396	2.834	26.108	46.503	0.8432	5133.4
1	Temmuz	1.4089	4.386	27.58	51.639	1.088	5303.76
3	Temmuz	1.5844	5.364	28.834	48.126	1.3341	6725.3
4	Temmuz	0.892	3.348	22.877	69.045	1.6696	4926.7
5	Temmuz	1.3697	4.864	28.869	42.466	0.4861	6226.6
6	Temmuz	1.5857	6.38	27.831	48.222	1.8887	5799.32
7	Temmuz	1.8348	5.712	27.719	39.815	1.8667	6781.5
8	Temmuz	1.8596	5.648	27.176	53.949	2.2526	6927.4
9	Temmuz	1.903	5.904	26.648	60.638	2.51	6990
10	Temmuz	1.8638	5.304	26.144	69.275	2.7495	6811.7
11	Temmuz	1.8579	5.408	26.733	64.799	2.6528	6723.7
12	Temmuz	1.9677	5.96	27.355	60.974	2.6174	6753
13	Temmuz	1.6824	4.756	26.648	68.54	2.3239	5424.5
14	Temmuz	1.746	4.768	27.215	67.59	2.0995	5990.25
15	Temmuz	1.8186	5.636	28.291	56.288	2.1414	6568.2
16	Temmuz	2.0665	5.816	29.763	42.061	1.6813	6700.6
17	Temmuz	2.1173	6.644	30.358	46.907	2.0122	6647.2
18	Temmuz	1.8435	5.432	28.633	62.514	2.1255	6472.2
19	Temmuz	2.015	5.328	29.132	61.626	2.1707	6457.2

Çizelge B1(Devam) : 10:00-20:00 saatleri arasındaki naftalin, buharlaşma ve atmosferik değişkenlere ait ölçüm değerleri.

Gün	Ay	Naft. (gr)	Buh. (mm)	Ort Sck. (^oC)	Ort Bağ N. (%)	Ort Rüz H. (m/s)	Top Glob Rad. (W/m^2)
20	Temmuz	2.3392	5.708	32.003	48.52	1.4559	6443.6
21	Temmuz	1.4448	3.976	27.544	65.379	2.3971	3657.6
22	Temmuz	1.8637	6.388	28.895	35.212	2.0528	6772.4
23	Temmuz	2.0636	5.924	28.353	53.289	2.5358	6544.53
24	Temmuz	2.006	5.824	28.223	59.191	2.7189	6462
25	Temmuz	1.6081	4.344	28.268	68.135	1.8996	5073.9
27	Temmuz	2.4232	5.942	32.099	38.552	1.3704	6295.3
28	Temmuz	2.3651	5.416	28.932	63.868	2.7499	6577
29	Temmuz	1.7112	3.172	27.426	75.449	2.4056	4174.53
30	Temmuz	1.8017	4.356	28.577	65.061	1.7821	5440.12
31	Temmuz	1.7836	5.976	27.6	48.922	2.4458	6288.2
1	Ağustos	2.0561	5.68	27.933	58.216	2.8723	6578.9
2	Ağustos	1.4793	4.468	26.995	63.725	2.4484	4783.26
3	Ağustos	1.6581	4.792	27.1	60.958	2.6537	5041.6
4	Ağustos	2.0293	6.012	27.495	54.102	2.7075	6424.1
5	Ağustos	2.1442	6.412	27.255	51.438	3.5224	6146.38
6	Ağustos	1.7352	3.6	26.387	52.594	2.8974	5616.3
7	Ağustos	1.7944	5.632	26.412	57.299	2.7486	5861.2
8	Ağustos	1.8492	5.664	26.876	52.522	2.8641	6260.64
9	Ağustos	1.8669	5.472	26.731	60.902	2.6953	6488.2
10	Ağustos	1.8618	4.952	26.381	66.972	2.8611	5401.25
13	Ağustos	1.3424	3.568	24.749	57.143	1.7941	5560.3
15	Ağustos	1.8528	4.108	28.303	54.481	1.8701	6019.78
16	Ağustos	1.8763	4.768	28.069	49.479	2.1545	6111.65
17	Ağustos	1.9405	5.212	28.452	55.423	2.1943	5997.5
18	Ağustos	1.5939	5.208	25.878	62.861	2.7222	5692.46
19	Ağustos	1.8154	6.036	25.867	50.132	2.6471	6192.62
20	Ağustos	1.6282	5.2	24.685	59.6	2.7358	6339.59
21	Ağustos	1.7775	5.088	25.413	63.489	2.7274	5822.89
27	Ağustos	1.468	5.3	25.549	59.061	3.2128	5146.83
28	Ağustos	1.4581	4.972	25.53	62.694	3.1708	5170.87
29	Ağustos	1.3145	4.316	25.121	68.381	2.658	5243.87
30	Ağustos	0.9257	3.108	25.964	51.205	0.826	4148.51
31	Ağustos	1.3875	3.812	30.209	42.107	0.3008	5348.59
1	Eylül	1.5284	4.244	29.722	50.223	1.1495	5200.47
2	Eylül	1.701	4.836	27.629	54.851	1.7085	5265.99

Çizelge B2 : Analizde kullanılan 10:00-20:00 saatleri arasındaki mentol ölçüm değerleri.

Gün	Ay	Ment. (gr)
9	Haziran	1.7391
10	Haziran	0.5588
15	Haziran	1.7159
17	Haziran	1.817
18	Haziran	4.4721
19	Haziran	1.7903
20	Haziran	0.9353
21	Haziran	1.0507
22	Haziran	0.9841
23	Haziran	0.8314
24	Haziran	0.8028
25	Haziran	0.4941
28	Haziran	0.4546
29	Haziran	0.2737
30	Haziran	0.6154
1	Temmuz	1.6507
3	Temmuz	16.1959

Çizelge B3 : Analizde kullanılan 10:00-20:00 saatleri arasındaki kafur ölçüm değerleri.

Gün	Ay	Kaf. (gr)	Gün	Ay	Kaf. (gr)
17	Temmuz	1.5476	6	Ağustos	0.7232
18	Temmuz	1.2379	7	Ağustos	0.8122
19	Temmuz	1.3065	8	Ağustos	0.8269
20	Temmuz	1.5444	9	Ağustos	0.8342
21	Temmuz	0.6587	10	Ağustos	0.8315
22	Temmuz	1.1225	13	Ağustos	1.1547
23	Temmuz	1.0872	15	Ağustos	1.16
24	Temmuz	1.0225	16	Ağustos	1.1322
25	Temmuz	0.9538	17	Ağustos	1.0146
27	Temmuz	1.1876	18	Ağustos	1.0441
28	Temmuz	1.0621	19	Ağustos	0.9584
29	Temmuz	0.793	20	Ağustos	0.8379
30	Temmuz	1.0051	21	Ağustos	0.9139
31	Temmuz	0.885	27	Ağustos	0.8302
1	Ağustos	0.9765	28	Ağustos	0.8113
2	Ağustos	0.7446	29	Ağustos	0.7738
3	Ağustos	0.805	30	Ağustos	0.8258
4	Ağustos	0.8962			

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad:	Mehmet AFİF
Doğum Yeri ve Tarihi:	K.K.T.C, Lefkoşa, 25.11.1986
Adres:	Serdarlı, Gazi Mağusa, Ecevit Cad., No:16, KKTC
e-mail:	mehmetafif@hotmail.com
Lisans:	İstanbul Teknik Üniversitesi (2009)