



İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN SU YÜZEYİNDEKİ
POTANSİYEL BUHARLAŞMAYA ETKİSİ

Yüksek Lisans Tezi

Merve ÖZKAN

Eskişehir, 2020

**İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN SU YÜZEYİNDEKİ POTANSİYEL
BUHARLAŞMAYA ETKİSİ**

Merve ÖZKAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
HİDROLİK/İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

Prof. Dr. Mustafa TOMBUL

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Ocak 2020

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Merve ÖZKAN'ın "İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN SU YÜZEYİNDEKİ POTANSİYEL BUHARLAŞMAYA ETKİSİ" başlıklı tezi 13/01/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek "Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği"nin ilgili maddeleri uyarınca Hidrolik Anabilim dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Unvanı Adı Soyadı

İmza

Üye (Tez Danışmanı)

Prof.Dr.Mustafa TOMBUL

Üye

Doç.Dr. Hakan ŞİRİN

Üye

Dr.Öğr.Üyesi Masoud DERA KHSHANDEH



Prof. Dr. Murat TANIŞLI

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ÖZET

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN SU YÜZEYİNDEKİ POTANSİYEL BUHARLAŞMAYA ETKİSİ

Merve ÖZKAN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Hidrolik Bilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ocak 2020

Danışman: Prof. Dr. Mustafa TOMBUL

Son zamanlar da çevre ile ilgili konuların başında iklim değişikliği ve su problemleri gelmektedir. İklim değişikliği gelecekte su kaynakları üzerinde etkili olacaktır. İklim değişikliğinin su kaynaklarına yapacağı etki gündemde önemli kabul edilen konulardan biridir. Bu kapsamda gelecek için iklim değişikliğinin su kaynaklarına etkisinin bilinmesi ve gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir. Bu kapsamda hidrolojik döngünün önemli parçalarından biri olan buharlaşma kayıplarının da gelecek için tahmininin yapılması önemlidir. Buharlaşmanın su yüzeylerinden deneysel olarak ölçülmesindeki zorluk nedeniyle, belirlenmesi için farklı yöntemler geliştirilmiş ve önerilmiş. Çalışma kapsamında Türkiye'nin önemli barajlarından kabul edilen Atatürk Barajı'nın rezervuarından buharlaşma farklı yöntemler kullanılarak tahmin edilmiş, buharlaşmanın günümüzdeki durumunu, yakın gelecek olarak 2045-2055 dönemi ve uzak gelecek olarak 2085-2095 dönemi için buharlaşmanın günümüz dönemine göre durumu ortaya koyulmuştur. Bu çalışmada kullanılan yöntemlerle hesaplanan buharlaşmalar standart yöntem olarak önerilen Penman-Monteith yöntemiyle hesaplanan buharlaşmalarla karşılaştırılmıştır. Bu kapsamda Atatürk Baraj Gölü buharlaşmasının yakın gelecek dönem olarak alınan 2045-2055 yılları için %10 ile %15 arasında artış gerçekleştireceği, uzak gelecek dönem olarak alınan 2085-2095 yılları için %20 ile %25 arasında artış gerçekleştireceği görülmüştür.

Anahtar Sözcükler: İklim değişikliği, Açık su yüzeyi, Buharlaşma, Atatürk Barajı, Rezervuar

ABSTRACT

THE EFFECT OF CLIMATE CHANGE ON POTANTIAL EVAPORATION FROM THE WATER SURFACE

Merve ÖZKAN

Department of Civil Engineering

Programme in Hydraulics

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, January 2020

Supervisor: Prof. Dr. Mustafa TOMBUL

Lately, climate change and water problems are among the most significant environmental issues. In the near future climate change will have a significant impact on water resources. The impact of climate change on water resources is one of the most important issues on the agenda. In this context, the impact of climate change on water resources should be known and necessary precautions must be taken for the future. In this perspective, it is important to estimate the evaporation losses, which are one of the important parts of the hydrological cycle, for the future. Due to the difficulty in measuring evaporation from water surfaces experimentally, different methods have been developed and proposed for its determination. In this study one of the important dams in Turkey, the Ataturk Dam reservoir is considered, and different methods are used to estimate the evaporation for the present day, the near future i.e. 2045-2055 and in the distant future i.e. 2085-2095, the state of evaporation for these periods are then compared to the present day estimation of evaporation. The evaporation methods used in this study to estimate the evaporation are then compared with the Penman-Monteith method, which is considered as a standard. It is thus observed that the evaporation from the reservoir of Ataturk Dam will increase between 10% and 15% for the near future period i.e. 2045-2055 while for the distant future period i.e. 2085-2095 an increase of 20% - 25% is recorded.

Keywords: Climate Change, Open water surface, evaporation, Ataturk Dam, Reservoir

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde katkıda bulunan öncelikle tez danışmanım Sn. Prof. Dr. Mustafa TOMBUL'a teşekkür etmek istiyorum. Bir sorunla karşılaştığımda ya da araştırmam ya da yazımla ilgili bir sorum olduğunda ofisinin kapısı her zaman açıktı, ihtiyaç duyduğumu düşündüğü anlarda beni her zaman doğru yönlendirdi.

Çalışmam sürecinde yardımlarını esirgemeyen Sn. Aziz Ul Haq MUJAHID'e ayrıca desteklerini esirgemeyen ve her zaman yanımda olan aileme teşekkür ederim.

Merve ÖZKAN

13/01/2020

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Merve ÖZKAN

İÇİNDEKİLER

BAŞLIK SAYFASI	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR	v
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
TABLolar DİZİNİ.....	x
KISALTMALAR DİZİNİ	xi
SEMBOLLER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı.....	2
1.2. Literatür İncelemesi	2
2. AÇIK SU YÜZEYİNDE BUHARLAŞMA	5
2.1. Buharlaşma.....	5
2.2. Meteorolojik Parametrelerin Buharlaşmaya Etkisi	6
2.2.1. Sıcaklık.....	6
2.2.2. Güneş Radyasyonu	6
2.2.3. Nem	6
2.2.4. Rüzgar Hızı.....	7
2.2.5. Buhar Basıncı	7
2.2.6. Difüzyon İşlemi	8
2.3. Coğrafi ve Topoğrafi Faktörlerin Buharlaşmaya Etkisi	8
2.3.1. Enlem	8
2.3.2. Yükseklik	9
2.3.3. Bakı	9

2.4.	Suyun Kalitesi ve Bulunduğu Ortamın Buharlaşmaya Etkisi.....	9
2.4.1.	Su Kütlesinin Büyüklüğü	9
2.4.2.	Tuzluluk.....	10
2.4.3.	Kirlenme	10
2.4.4.	Su Kütlesine Su Girişi ve Çıkışı.....	10
2.4.5.	Yağış Miktarı.....	10
3.	İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ.....	12
3.1.	İklim Değişikliğinin Tanımı	12
3.2.	Türkiye'de İklim Değişikliğinin Tarihsel Değişimi.....	13
3.3.	Türkiye'de İklim Değişikliğinin Gelecekteki Değişimi.....	14
4.	ANALİZ.....	15
4.1.	Çalışma Bölgesi ve Verileri	15
4.2.	Buharlaşma Hesaplama Yöntemleri	17
4.2.1.	Kombinasyon Denklemleri.....	17
4.2.2.	Sıcaklık Tabanlı Denklemler	17
4.2.3.	Nem Bazlı Denklemler	19
4.2.4.	Radyasyon Tabanlı Denklemler	19
4.3.	Elde Edilen Bulgular	21
4.3.1.	Buharlaşma Analizleri.....	22
4.3.1.1.	Buharlaşma Yöntemleri Arasında Korelasyon	29
4.3.2.	Günümüz ve Gelecek Durum Analizleri.....	31
5.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	43
	KAYNAKÇA.....	64
	ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil1.1. Su Döngüsü	1
Şekil4.1. Buharlaşma tahminlerinde Thornthwaite ve Romanenko'nun Penman-Monteith'e göre değişimi	25
Şekil4.2. Buharlaşma tahminlerinde Hargreaves, Hamon, Jensen-Haise, Priestly-Taylor, Düzeltilmiş Jensen Haise ve Turc'un Penman-Monteith'e göre karşılaştırılması.....	27
Şekil4.3. Buharlaşma tahminlerinde mm gün-1 olarak tahmin yapılan yöntemlerin karşılaştırılması.....	28
Şekil4.4. Yöntemlerin ET'leri ile EPM'nin karşılaştırılması	30
Şekil4.5. Model ve İstasyon verileri (2015-2018) ile Penman-Monteith yöntemi kullanılarak yapılan buharlaşma hesabı	31
Şekil4.6. Penman-Monteith kullanılarak İstasyon ve Model ET karşılaştırılması	33
Şekil4.7. Gelecek dönem (2045-2055) için yöntemlerle buharlaşma tahminleri.....	34
Şekil4.8. Yöntemlerin ET tahmini için EPM ile karşılaştırılması (2045-2055).....	36
Şekil4.9. Gelecek dönem (2085-2095) için yöntemlerle buharlaşma tahminleri.....	38
Şekil4.10. Yöntemlerin ET tahmini için EPM ile karşılaştırılması (2085-2095).....	40
Şekil4.11. 2015-2018, 2045-2055 ve 2085-2095 verileri ile PenmanMontieth yöntemi kullanılarak yapılan buharlaşma hesabı.....	42

TABLÖLER DİZİNİ

Tablo4.1. Çalışmada kullanılan buharlaşma veya potansiyel buharlaşma hesaplamaları için gerekenler	21
Tablo4.2. Genelleştirilmiş buharlaşma tahminleri	22
Tablo4.3. Denklemler için yerel kalibrasyonlu sabit değerler	24
Tablo4.4. Seçilen yöntemler için aylık buharlaşma tahmini oranları ve bağıl hata	26
Tablo4.5. Seçilen yöntemler için günlük buharlaşma tahmini oranları ve bağıl hata....	29
Tablo4.6. İstasyon ve model verileri kullanılarak Penman-Monteith ile hesaplanan hata değerleri (2015-2018).....	32
Tablo4.7. Model verileri ile hesaplanan 2045-2055 yılları toplam buharlaşmaların hata değerleri.....	35
Tablo4.8. Model verileri ile hesaplanan 2085-2095 yılları toplam buharlaşmaların hata değerleri.....	39
Tablo4.9. 2015-2018, 2045-2055 ve 2085-2095 dönemi verileri kullanılarak Penman-Monteith ile hesaplanan buharlaşma tahminini değerleri	41

KISALTMALAR DİZİNİ

BMİDÇS	: Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
EPM	: Penman-Monteith Yöntemi
ET	: Buharlaşma
FAO	: Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
IPCC	: Hükümetlerarası İklim Değişikliği Panelleri
PM	: Penman-Monteith
RMSE	: Root Mean Square Error (Karesel Ortalama Hata)
TİKDEK	: Türkiye İklim Değişikliği Kongresi

SEMBOLLER DİZİNİ

α	: Priestley-Taylor Katsayısı = 1.26
α_s	: Kısa Dalga Albedosu
β	:Bowen Oranı
γ	: Psikometrik Katsayı [kPa °C ⁻¹]
Δ	: Buhar Basınç Eğrisinin Eğimi [kPa °C ⁻¹ ; mbar °C ⁻¹]
Δ_w	: Islak Termometre Sıcaklığındaki Buhar Basıncı Eğrisinin Eğimi [kPa °C ⁻¹]
ε	: Su Buharının Kuru Havaya Moleküler Ağırlığı
ρ	: Su Yoğunluğu
ρ_a	: Hava Yoğunluğu
τ	: Zaman Sabiti
$\lambda f(u)$	: Rüzgar Fonksiyonu [MJ Kg ⁻¹]
λE	: Gizli ısı akısı [MJ Kg ⁻¹]
σ	: Stefan-Boltzmann Sabiti = 4.9×10^{-9} (MJ m ⁻² °C ⁻⁴ d ⁻¹)
c	: Suyun Özgül Isısı = 0.0042 [MJ Kg ⁻¹ °C ⁻¹]
c_H	: Hargreaves Katsayısı
c_p	: Spesifik Hava Sıcaklığı = 0.001013 [MJ Kg ⁻¹ °C ⁻¹]
d	: Her aydaki gün sayısı
e_a	: Gerçek Buhar Basıncı [kPa]
e_d	: Doymuş Buhar Basıncı [kPa]
ET	: Buharlaşma
G	: Toprak Isı akısı [MJ m ⁻² gün ⁻¹]
I	: Yıllık Isı Endeksi
i	: Aylık Thornthwaite Isı Endeksi

k	: von Karman's Katsayısı
N	: Isı depolama değışikliği
N_s	: Teorik Güneşli Saatler
P	: Atmosferik Basınç [MPa; mbar]
RH	: Bağıl Nem [%]
R_n	: Net Radyasyon [cal cm ⁻² gün ⁻¹ ; MJ m ⁻² gün ⁻¹ ; mm gün ⁻¹]
R_s	: Toplam Güneş Radyasyonu [cal cm ⁻² gün ⁻¹ ; MJ m ⁻² gün ⁻¹ ; mm gün ⁻¹]
R_a	: Dünya dışı radyasyon [cal cm ⁻² gün ⁻¹ ; MJ m ⁻² gün ⁻¹ ; mm gün ⁻¹]
r_a	: Aerodinamik Direnç [°C]
r₂	: Tespit Katsayısı
T	: Hava Sıcaklığı [°C]
T_a	: Ortalama günlük hava sıcaklığı [°C]
T_{max} ve T_{min}	: Minimum ve Maximum Sıcaklık [°C]
T_{Wet}	: Islak Termometre Sıcaklığı [°C]
T_{Dew}	: Çiğlenme Noktası Sıcaklığı [°C]
T_e	: Denge Sıcaklığı [°C]
u	: Rüzgar Hızı [m s ⁻¹]
u₂	: 2 m yükseklikte ölçölmüş rüzgar hızı [m s ⁻¹]
z₀	: Momentum ve su buharı pürüzlölük uzunluğu (m)
z_r	: Yüzey üzerindeki ölçüm yüksekliđi [m]

önemi bakımından farklılıklar göstermektedir. Farklılığı sayısal olarak değerlendirmek önemlidir ve karar vermede dikkate alınabilmesi için mümkün kılınmalıdır.

Açık su yüzeylerinden veya ıslak yüzeyden buharlaşma tahmininde net radyasyon, hava basıncı, hava sıcaklığı, rüzgar ve nem etkisinin net sonucu, tüm buharlaşma süreci boyunca büyük rol oynarlar.

Bazı bölgelerde buharlaşmanın ölçümü için buharlaşma tavaları kullanılarak yeterli sonuçlar alınabilmektedir. Ama bu her bölge için mümkün değildir. Buharlaşmanın ölçülemediği yerlerde buharlaşma tahmini için, meteorolojik verilere dayanan fiziksel ve ampirik yöntemler uygulanmaktadır. Bu yöntemlerinde uygulanabilirliği yalnızca verinin erişilebilirliğine bağlı olarak değişmektedir.

Dünya çapında araştırmacılar buharlaştırma hesapları yapmaktadırlar. Bu kapsamda geliştirilen ampirik ve fiziksel yöntemleri uygulamakta, yöntemler arasında karşılaştırma çalışmaları yapmaktadırlar.

1.1. Tezin Amacı

Bu tezin iki amacı bulunmaktadır. Bunlardan birincisi vazgeçilmez madde olan suyun, yeryüzünden atmosfere geçişi olarak tanımlanan buharlaşma kayıplarının hesaplanmasında kullanılan yöntemlerin başlıca kullanılanları ile Atatürk Baraj Gölü'nün buharlaşmasının günümüzde ki buharlaşma tahminini yöntem ve denklemler kullanılarak denklemlerin tutarlılığı ve karşılaştırmasını içermektedir. Çalışmanın ikinci amacı ise iklim değişikliğinin buharlaşma miktarına olan etkisinin ortaya konması, günümüz ve gelecek durum analizi yapılmasıdır. Gelecek durum analizi yapılırken yakın ve uzak gelecek olarak iki dönem değerlendirilmiştir.

1.2. Literatür İncelemesi

Buharlaşmanın hesaplanmasında çevre şartları, iklim verilerinin türü gibi farklılıklar nedeniyle yapılan çalışmalar kapsamında buharlaşma hesaplamaları için çeşitli yöntemler ve denklemler önerilmiştir. Buharlaşma ve buharlaşma ile ilgili çalışmalar incelendiğinde, çalışmaların bir çoğunun iki alanda ilerlediği görülmektedir. Bunlardan ilki, meteorolojik değişkenler ile tavalar kullanılarak ölçülen buharlaşma arasında bir ilişki kurarak buharlaşma ve buharlaşma tahmini için hesaplama denklemlerinin incelenmesidir. İkinci çalışma kapsamı ise geliştirilen bu denklemlerin

farklı bölgelerde uygulanarak, uygulandığı bölgedeki tutarlılıklarının değerlendirildiği veya denklemler arasındaki karşılaştırmaların yapıldığı çalışmalardır.

Bu kapsamdaki çalışmalar, genel olarak, (i) Kombinasyon Denklemi. (HL Penman, 1948) , (ii) Sıcaklığa Dayalı Hargreaves (Hargreaves ve Samani, 1985), Thornthwaite (Charles Warren Thornthwaite, 1948), Hamon (D. Haith ve L. Shoenaker, 1987), (iii) Radyasyon Dayalı (Priestley & Taylor, 1972), (Turc, 1961) ve (M. Jensen ve Haise, 1963a) ve (iv) Nem Bazlı (Romanenko, 1961) olmak üzere dört başlık altında sınıflandırılabilir yöntemlerin değerlendirildiği çalışmalardır. Bu tez kapsamında da bu yöntemler kullanılarak çalışma yapılmıştır.

Literatüre bakıldığında 1997 yılında açık yüzeyden buharlaşma için 13 kütle transferinin değerlendirildiği (Singh ve Xu); 2000 yılında radyasyona dayalı buharlaşma hesaplama yöntemlerinin derlendiği ve karşılaştırıldığı (Xu ve Singh); 2001 yılında buharlaşma hesaplamasında sıcaklığa dayalı metotların derlendiği ve değerlendirildiği (Xu ve Singh), ampirik denklemlerle İsviçre’de potansiyel evapotranspirasyonun hesaplanmasının değerlendirildiği çalışma (Xu ve Singh, 2002), çalışmalar bu kapsam dahilinde literatürde karşılaşılan çalışmalardır. Bir diğer çalışma Valiantzas (2013) tarafından geliştirilen Kisi (2013) tarafından da denendiği Akdeniz bölgesinde bulunan Adana, Antalya, Isparta ve Mersin istasyonları kapsamında 2013 yılında yapılmış olup, FAO 56 Penman-Monteith (PM), Copais, Turc, Hargreaves ve Samani, Hargreaves, Ritchie ve Irmak metotları ile Valiantzas (2013) tarafından geliştirilen metotlar karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada da, verilen yöntemler kapsamında buharlaşma hesaplanmış olup, günümüzdeki durumu ortaya konulmuş ve FAO 56 Penman-Monteith yöntemine göre kıyaslaması yapılmıştır.

İklim değişikliğinin buharlaşmaya olan etkilerinin ne olacağı ile ilgili olarak, iklim değişikliği modelleme sonuçları çerçevesinde elde edilen meteorolojik verilerle gelecek dönemler için buharlaşma hesaplamaları yapılmakta ve buharlaşmanın gelecekteki durumunu, bu kapsamda ortaya konmaktadır. Literatüre bakıldığında, bu kapsamda Hindistan’da mevcut durum ve gelecek projeksiyonları kapsamında gerçekleşecek buharlaşma ile potansiyel evapotranspirasyonun araştırıldığı çalışma (Chattopadhyay ve Hulme, 1996); bir diğer çalışmada Birleşik Krallıkta iklim modeli çıktısı kullanılarak su yönetimi için sebze yüzeylerinden potansiyel buharlaşma tahmininin araştırıldığı çalışma (Bell ve diğ. 2011); bir diğer çalışma ise iklim

değişikliğinin Avustralya'daki büyük bir rezervuardan sıcaklık ve buharlaşma üzerindeki etkilerinin araştırıldığı çalışma da (Helfer ve diğ. 2012), literatürde karşımızda çıkmaktadır. Bu tez kapsamında gerçekleştirilen bir diğer çalışma da Atatürk Baraj Gölü buharlaşmasının iklim değişikliğinden nasıl etkileneceğinin ortaya konmasıdır. Bu çerçevede, Atatürk Barajı Gölü için elde edilen iklim değişikliği model çıktıları kullanılarak gelecek dönem için buharlaşma miktarlarındaki olası değişimler, tez çalışmasında sunulan yöntemler ile ortaya konmuştur.



2. AÇIK SU YÜZEYİNDE BUHARLAŞMA

Hidrolojik çevriminin önemli bir parçasını oluşturan buharlaşma, meteorolojik faktörlerin etkisiyle beraber yeryüzünde değişik şekil ve şartlarda, katı ve sıvı halde bulunan suyun atmosfere gaz halinde dönüşü olarak tarif edilmektedir. Yeryüzünde suyu içinde bulunduran her yüzey (denizler, göller, akarsular, nemli topraklar, karla örtülü veya buzla kaplı yüzeyler, ormanlar, bitki örtüsüne sahip araziler vb.), atmosferdeki su buharının kaynağıdır ve bu yüzeylerden devamlı olarak buharlaşma meydana gelmektedir. Atmosferdeki su buharının çoğunluğunu okyanuslar, denizler ve göllerin yüzeylerindeki buharlaşmadan meydana gelmektedir. Bu kapsamda açık su yüzeyinden meydana gelen buharlaşma önemlidir ve bilinmesi gerekmektedir.

2.1. Buharlaşma

Buharlaşma suyun sıvı halden gaz halde ki su buharına dönüşme süreci olarak tanınmaktadır. Su göller, nehirler, toprak, ıslak bitki yüzeyi vb. gibi çeşitli yüzeylerden buharlaşabilir. (FAO 56, 2006).

Açık su yüzeyi ile bitki örtüsüyle kaplı olmayan toprak yüzeylerden meydana gelen buharlaşma, genel anlamada kullanılan buharlaşma teriminin karşılığıdır ve buna ek olarak bitki yüzeylerinden de az olsa da buharlaşma meydana gelmektedir. Açık su yüzeyinden meydana gelen buharlaşmada toplam güneş radyasyonu, hava sıcaklığı, hava nemi ve rüzgar hızı ile rüzgar yönü gibi meteorolojik faktörlerin etkisi dışında, su yüzeyinin büyüklüğü ve şekli, topoğrafya ve çevresinde bulunan bitki örtüsü de buharlaşmaya etki olarak önemli rol oynayan faktörlerdir. Buharlaşmaya etki eden bu önemli faktörlerin yanında suda çözünmüş halde bulunan maddeler de buharlaşma üzerinde olumlu ve olumsuz etki gösteren diğer etkidir. (Şaylan, 2011).

Açık su yüzeylerinde ve ıslak yüzeylerde meydana gelen buharlaşma devamlı olarak devam etmektedir. Herhangi bir yüzeyden gerçekleşen buharlaşmanın devamlılığı için rüzgar, radyasyon, hava ve su sıcaklıkları, atmosferik basınç, su kalitesi ve su yüzeyindeki doymuş tabakaya bitişik havada bulunan su buharı gibi dış etkenlerden sürekli bir enerji temini gerekmektedir. Bunlar herhangi bir yüzeyden meydana gelecek buharlaşmayı etkileyen faktörlerden bazılarıdır. Güneş ışınımı buharlaşmayı etkileyen önemli faktörlerden biridir, bu nedenle buharlaşmanın gerçekleşmesi ve miktarı mevsim, gökyüzü koşulları (bulutlu gökyüzü, berrak gökyüzü vs.), enlem ve günün saatlerine göre değişiklik göstermektedir.

2.2. Meteorolojik Parametrelerin Buharlaşmaya Etkisi

Meteorolojik parametrelerin açık su yüzeyinden meydana gelen buharlaşma üzerindeki etkisinin yeterince önemli ve etkili olduğu düşünülmektedir. Buharlaşmayı belirleyen meteorolojik parametreler, buharlaşma için gerekli olan enerjiyi sağlayan ve buharlaşan yüzeyden su buharını gideren hava parametreleridir. Buharlaşmayı etkileyen önemli meteorolojik etkenler, güneş radyasyonu, havanın buhar basıncı, sıcaklık, bağılnem ve rüzgar hızı olarak sayılabilir.

2.2.1. Sıcaklık

Atmosfer tarafından emilen güneş ışınımı ve dünya tarafından yayılan ısıyla beraber hava sıcaklığını arttırır. Sıcaklığın artmasıyla havanın hissedilir ısısı, su moleküllerine enerji aktarır ve aktarılan bu enerji sıcaklığın buharlaşma hızı üzerinde etkili olduğunu gösterir. Bu sebeple sıcaklık arttıkça moleküllere verilen enerji artmaktadır. Sıcaklığın etkisinin sonucu olarak güneşli veya ılık havalarda buharlaşma yoluyla oluşan su kaybının bulutlu veya soğuk havalarda olduğundan daha fazla gerçekleşmektedir. Sing ve Xu, buharlaşmaya atıfta bulunarak meteorolojik parametrelerin değerlendirilmesinde buharlaşmanın sadece kısa süreler için değil, aylık buharlaşma gibi daha uzun süreler için de orantılı bir şekilde sıcaklıktan etkilendiğini tespit etti (Xu ve Singh, 1998).

2.2.2. Güneş Radyasyonu

Buharlaşma işlemi mevcut olan enerji miktarıyla belirlenir. Buharlaşmanın gerçekleşmesi için en büyük enerji kaynağı güneş radyasyonudur ve bunun etkisiyle büyük miktardaki sıvı su buharına dönüşebilmektedir. Buharlaşmanın gerçekleştiği yüzeye ulaşabilecek radyasyon miktarı, bulunduğu yer ve yılın zamanına göre belirlenmektedir. Güneşin konumunun durumundaki farklılıklar nedeniyle, radyasyon çeşitli enlemlerde ve farklı mevsimlerde farklılık göstermektedir. Buharlaşan yüzeye ulaşan gerçek güneş radyasyonu, atmosferin bulanıklığına ve radyasyonun ana kısımlarını yansıtan veya emen bulutların varlığına bağlıdır.

2.2.3. Nem

Nem, havadaki su buharının varlığı olarak tanımlanmaktadır. Nem, buharlaşmayı bir dereceye kadar etkiler, bununla birlikte, etkinin henüz uygun bir derecesi tanımlanmamıştır. İki farklı nem tipi tanımlanmıştır. Bunlardan ilki mutlak

nemdir. Mutlak nem belirli bir sıcaklıkta, belirli bir hava hacmindeki kuru hava miktarı üzerindeki su buharı miktarıdır. İkincisi de bağıl nemdir. Bağıl nem mevcut sıcaklığa bağlı olarak, mutlak nem akımının mümkün olan en yüksek neme oranı şeklinde tanımlanabilir.

Hava kütleindeki bir değişiklik haricinde, gün boyunca mutlak nemde meydana gelebilecek değişim miktarı çok azdır. Ancak, bağıl nem daha sık değişmektedir ve bağıl nemin değerindeki değişiklik artan bir eğilimde olduğu için, su moleküllerinin yüzeyden transferinde bir azalma olacaktır. Bağıl nem hava sıcaklığı ile ilişkilidir, hava sıcaklığı artarsa buna bağlı olarak bağıl nem artar ve bunun sonucu olarak bağıl nem buharlaşma hızının düşmesine neden olur (Romanenko, 1961).

2.2.4. Rüzgar Hızı

Buharın giderebilmesi, buharlaşmanın gerçekleştiği yüzeye hava aktarımı yapan rüzgara bağlıdır. Havada fazla miktarda su buharı depolanabilirken, rüzgar daha fazla su buharının alınmasını ve suyun taşınmasını sağlar. Rüzgar hızındaki küçük bir değişiklik buharlaşma hızındaki büyük bir değişikliğe sebep olmaktadır. Buna kapsamda rüzgar hızı buharlaşmada önemli bir faktördür.

Suyun buharlaşma derecesi, su yüzeyindeki rüzgarın hızından belirli bir dereceye kadar etkilenir. Su kütlelerinden ayrılmış olarak bulunan havadaki su parçacıkları, esen rüzgar tarafından uzaklaştırılır, bu nedenle, su yüzeyinin üstündeki havanın nemini düşürür, çünkü, daha fazla su molekülü, yüzey üzerindeki havaya dağılabilir. Rüzgar hızı ile buharlaşma oranı arasındaki ilişkinin pozitifliği kritik bir değerdir. Dolayısıyla, maksimum buharlaşma oranının belirlenmesi, enerji ve nem mevcudiyetine bağlıdır. (Linsley ve Kohler, 1982).

2.2.5. Buhar Basıncı

Dalton Yasası'na göre buharlaşma miktarı su yüzeyindeki buhar basıncıyla (havanın e_d doymuş buhar basıncıyla) suyun üstündeki havanın e_a (gerçek buhar basıncı) buhar basıncının arasındaki fark ile orantılıdır. Suyun sıcaklığı arttıkça buna bağlı olarak moleküllerin hızları artar, yüzeysel gerilim azalır ve doymuş havadaki nem miktarı (su yüzeyindeki buhar basıncı) da artacağından buharlaşma kolaylaşır (Bayazıt, 2013).

Havanın doymuş buhar basıncı (e_d) ile gerçek buhar basıncı (e_a) arasındaki farkı oluşturan buhar basıncı açığı (doyma açığı) açık su yüzeyi buharlaşmasını etkileyen önemli faktörlerden biridir.

2.2.6. Difüzyon İşlemi

Buharlaşmanın devamlılığının sağlanabilmesi için difüzyon ile yüzeyde oluşan su buharının su yüzeyinden uzaklaşması gerekir. Eğer buharlaşan su buharı, su yüzeyinden uzaklaşmazsa e_a 'nın (gerçek buhar basıncı) artması sonunda buhar basıncı açığı (doyma açığı) bir süre sonra sifira düşeceğinden suyun üstündeki havanın doymuş hale geçmesiyle buharlaşma durur. Bu kapsamda buharlaşmanın devamı için su buharını su yüzeyinden uzaklaştıracak hava hareketi (rüzgar) gereklidir. Rüzgarlar yatay doğrultudaki etkisinin yanında düşey doğrultuda da türbülanslı difüzyon yolu ile alışverişi de arttırdıklarından, buharlaşmayı devam ettirmekte önemli rol oynamaktadırlar. (Bayazit, 2013)

Tüm meteorolojik parametrelerin yanında, buharlaşmayı etkileyen en önemli faktörlerden biri de meteorolojik faktörler üzerinde önemli etkisi olan mevsim döngüleridir. Meteorolojik faktörler mevsimden mevsime değişmektedir. Bunun bir sonucu olarak da buharlaşma da mevsimsel olarak büyük oranda değişiklik göstermektedir.

2.3. Coğrafi ve Topoğrafi Faktörlerin Buharlaşmaya Etkisi

Buharlaşma olayında açık su yüzeyinden buharlaşmanın gerçekleşmesi için bölgenin, coğrafi konumu ve güneşe karşı konumunun da bilinmesi gerekir. Coğrafi konum ve güneşe karşı konum önemlidir. Bunun için buharlaşmanın gerçekleştiği bölgenin enlem, yükseklik ve bakı yönünden de değerlendirilmesi gerekmektedir.

2.3.1. Enlem

Açık su yüzeyi buharlaşması ele alındığında farklı enlem derecelerine sahip bölgelerde oluşan açık su yüzeyinden buharlaşma farklı miktarlarda olduğu bilinmektedir. Bu bilgi doğrultusunda buharlaşma tahmini yapılan bölgenin enlem derecesinin bilinmesi gerekmektedir.

2.3.2. Yükseklik

Buharlaşmayı etkileyen diğer faktörlerin değişmediği varsayılırsa yükseklik arttıkça buharlaşma miktarının artacağı bilinmektedir. Yüksekliğin artmasıyla beraber hava basıncı düşer ve havanın sıcaklığının da azalacağından buharlaşma miktarı da azalır. Gerçekleşen azalma miktarı, hava basıncının etkisiyle oluşan artışın miktarını telafi edemediğinden yükseldikçe buharlaşma miktarından az miktarda da olsa artış gözlenir, bunun sonucunda yükseldikçe buharlaşmanın azda olsa arttığı kabul edilir. (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2019)

2.3.3. Bakı

Yamaçların güneş ışınlarını alışı yönü olarak bilinen bakı, buharlaşma üzerinde etkili olan faktörlerden biridir. Güney ve Batıya bakan yamaçlarda ki suların güneş ışınlarına daha çok maruz kaldığını bilindiğine göre bu yönlere bakan yamaçlardaki sularda oluşan buharlaşma Kuzey ve Doğuya bakan yamaçlardaki sularda oluşan buharlaşmaya göre daha fazladır. Sonuç olarak buharlaşmaya bakı da etki etmektedir.

2.4. Suyun Kalitesi ve Bulunduğu Ortamın Buharlaşmaya Etkisi

Suyun bulunduğu ortamdaki enerji durumu, su kütlesinin büyüklüğü (yüzey büyüklüğü ve derinlik), tuzluluk, kirlenme ya da suda çözünmüş maddeler, yağış miktarı ve su kütlesine olan giriş ve çıkışın açık su yüzeyindeki buharlaşma miktarı üzerinde etkisi vardır.

2.4.1. Su Kütlesinin Büyüklüğü

Bir su kütlesinin ısı depolama kapasitesi, büyük ölçüde, buharlaşma hızının mevsimsel dağılımı üzerinde önemli bir etkiye sahip olan derinliği ile belirlenmektedir. Sığ su kütlelerinde, su kütlesinin sıcaklığı mevsimsel sıcaklık ile önemli bir değişiklik göstermezken maksimum buharlaşma oranı yaz aylarında, minimum kış aylarında kaydedilebilir. Buna karşılık derin sulardaki buharlaşma oranı ise sığ su kütlelerine göre yaz aylarında daha az, kış aylarında daha fazla olur.

Sabit bir rüzgar hızında gerçekleşen açık su yüzeyindeki buharlaşma miktarı, su kütlesinin yüzeyinin bağıl nemi ve büyüklüğü ile ilişkilidir. Su kütlesinin yüzeyi ne kadar büyük olursa, buharlaşma oranı o kadar yüksek olmaktadır. Bununla birlikte, buharlaşan suyun derinliği, yüzey alanında gerçekleşen artışla azalır, ancak geniş bir yüzey alanında olduğu gibi, su gövdesinin üst katmanı, buharlaşma potansiyeli yüksek

olan daha fazla enerji içerir. Daha büyük su kütlelerinden kaynaklı daha büyük yüzey alanlarındaki rüzgar, nem seviyesini değiştirerek yüzey üzerinde hareket eder. Su kütlesi yeterince büyükse, hava neminin sınırdan kapladığı mesafeye bağımsız olacaktır ve buharlaşma hızı uygunsa enerji miktarının aksine, küçük yüzey alanına sahip su kütleleri, buharlaşma tavalarındaki gibi, sıcaklık ya da nemin az etkisinden dolayı yüksek bir sabit buharlaşma hızı korunur. Su kütlelerinin kenarından veya sınırından gelen havanın nemi, farklı büyüklükteki su kütlelerinin açık su yüzeyinden oluşan buharlaşma oranına önemli ölçüde etki eder.

2.4.2. Tuzluluk

Sudaki erimiş tuzlar buhar basıncını azalttığından dolayı, tuzlu sular tatlı sulara göre daha az buharlaşır.

Tuzlu su buharı basıncı daha düşüktür, bu nedenle buharlaşma oranı, tuzluluktaki bir artışla neredeyse orantılı bir oranda düşer. Örneğin, tuzluluktaki yüzde 1 artış, buharlaşma oranını yüzde 1 azaltabilir. Tatlı su kütlelerinin etkisinden dolayı dikkate alınması önemli değildir (Straskraba, 1980).

2.4.3. Kirlenme

Durgun su yüzeyinde biriken yabancı maddeler toz veya yağ tabakaları, buharlaşma oranına etki eder. Bulanık su gölleri, berrak suya kıyasla daha fazla miktarda gelen güneş ışınımını yansıtma eğilimindedir. Bunun sonucunda buharlaşma oranına olumsuz etki yapmaktadır. Kirlilik veya bulanıklık buharlaşma miktarını azaltmaktadır.

2.4.4. Su kütlelerinden su girişi ve çıkışı

Su kütlelerinden su girişi ve çıkışı, su kütlelerinde depolanan ısı üzerinde etkili olabilir. Giriş ve çıkış hacmindeki suyun sıcaklığı, su kütlelerinininkine benziyorsa suda depolanan ısıya katkısı çok etkili değildir. Ama giriş suyu sıcaklığı su kütlelerinin sıcaklığından büyük ölçüde farklıysa (düşük veya yüksek sıcaklık), depolanan ısıya katkısı önemli olabilir. Su kütlelerindeki depolanan ısıdaki değişim de buharlaşmaya etki etmektedir.

2.4.5. Yağış miktarı

Yağışın buharlaşma hızı üzerinde ki önemli bir etkisi henüz belirlenmemiştir. Yağış doğrudan suya düşerse, su kütlelerinin ısı dengesini değiştirebilir, ancak su kütlesi

ile kıyaslandığında yağış hacmi oldukça küçük olduğu için değişiklikte yeterince küçüktür ve ihmal edilir, bu nedenle sıcaklıkta küçüğe olsa bir farklılık ve değişkenlik söz konusudur. Su kütlesindeki değişen sıcaklığı da buharlaşma üzerinde etki sahibi olacağından yağışın ihmalde edilse buharlaşma üzerinde etkisi olduğu düşünülmektedir.



3. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ

İnsan faaliyetleri sonucunda artmakta olan sera gazları ile Dünyanın yüzeyi ısınmaktadır bunun sonucunda da iklimlerde değişiklikler meydana geldiğini bilimsel çevre tarafından kabul edilen bir gerçektir. İklimin insan hayatına olumlu ve olumsuz etkileri önemli bir yere sahiptir. Bu önemin farkındalığı sonucunda birçok kurum ve kuruluşlar iklimde meydana gelebilecek değişimlerin insan hayatındaki etkiyi azaltabilmek için farklı şekillerde çaba sarf etmektedirler.

3.1. İklim Değişikliğinin Tanımı

İklim değişikliği tanım olarak, ortalama iklim değerlerindeki dalgalanma yani tüm iklim şartlarının değişimini işaret etmektedir (FAO, 2003). IPCC iklim değişikliği tanımı, iklimin uzun zaman sürecindeki sürekliliğinde veya ortalama durumunda istatistiksel sapma şeklinde yapmaktadır. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) tanımına göre ise iklim değişikliği, karşılaştırılabilir bir zaman ölçeğinde gözlenen doğal iklim değişikliğinin yanında, doğrudan ya da dolaylı olarak insan etkinliklerinin küresel atmosferin bileşimini bozması sonucunda iklimde oluşan değişikliktir. Bu nedenle BMİDÇS insan kaynaklı faaliyetlerden oluşan değişimleri “iklim değişikliği” doğal süreçler kapsamında gerçekleşen değişimleri ise “iklim değişkenliği” olarak ayırmıştır (IPCC, 2001).

İklim değişikliği, fosil yakıtların yakılması, ormansızlaştırma, arazi kullanımlarındaki meydana gelen değişiklikler ve sanayileşme de meydana gelen etkiler gibi insan kaynaklı etkinliklerle atmosfere salınan sera gazı birikimlerindeki hızlı artışın doğal olarak gerçekleşen sera etkisinin kuvvetlendirilmesi ve arttırması sonucunda Dünya'nın yüzeyinde oluşacak ortalama yüzey sıcaklıklarındaki artışı şeklinde ifade edilmektedir.

İklim değişikliğinin gelecekteki etkilerinin önlenmesi ya da en az düzeye indirilmesi için geleceğe yönelik iklim değişikliği senaryolarının oluşturulması ve bu senaryolara göre etki değerlendirilmelerinin yapılması gerekmektedir. Dünyamızda iklim değişikliği ve iklim değişikliğinden kaynaklanan etkiler bölgesel ve zamansal ölçekte farklılık gösterecektir. Hangi bölgelerde hangi sektörlerin hangi düzeyde etkileneceğinin belirlenmesi ve bilinmesi, ülkelerin iklim değişikliğinin sonuçlarına hazırlıklı olması ve iklim değişikliğine uyum açısından çok önemlidir. İklim değişikliğinin bölgesel veya yerel etkilerini değerlendirme çalışmalarında daha doğru ve

o bölgeye uygun sonuçlar alabilmek için, küresel modellerin çözünürlüğünden daha yüksek çözünürlüklü simülasyonlara gereksinim duyulmaktadır. Küresel modellerin çözünürlükleri bölgesel modellere göre düşüktür (150-200 km) ve bölgesel özellikleri içermemektedirler. Seçilen bir bölge için küresel bir model kullanmak o bölge için doğru sonuçlar vermeyecektir. Bölgesel iklim modelleri, dinamik ölçek küçültme yöntemlerinden biri olarak, bölgesel olarak yapılan çalışmalarda başarılı bir şekilde kullanılmaktadırlar. Bölgesel modeller, küresel modellerden türetilmektedirler, bölgesel olarak daha uygun sonuçlar almak için yapılmaktadırlar. Bu modeller, başlangıç ve sınır koşullarını küresel modele göre düzenleme yapılmaktadır ve bölgesel olarak topoğrafya özelliklerinin de yansıtıldığı daha yüksek çözünürlükte (20-30 km) çalıştırılabilmektedirler (Demir ve ark.2007). Bunun bir sonucu olarak küresel modellerden yola çıkarak uygun bölgesel modeli seçerek yapılan çalışmalarda daha doğru sonuçlar alınabilir.

IPCC (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli) iklim değişikliği ile ilgili en güncel bilimsel, teknik ve sosyoekonomik bilgileri, çok sayıda bilim insanının katılımıyla düzenli aralıklarla raporlar yayınlamaktadır. IPCC'nin son çalışması olan 2014 yılında açıkladığı 5. Değerlendirme Raporuna (AR5) göre 20. yüzyılın ortalarından bu yana ortalama yüzey sıcaklıklarındaki gözlenen artışın büyük bölümünün kuvvetli olasılıkla insan kaynaklı sera gazı salınımlarındaki artıştan kaynaklandığı belirtilmektedir.

3.2. Türkiye’de İklimin Tarihsel Değişimi

Teknolojinin hızlı gelişiminden yararlanılarak dünyamızda iklim değişikliği hakkında yapılan çalışmalar, 1990’lı yıllardan sonra IPCC (Hükümetlerarası İklim değişikliği Paneli) adı altında oluşturulan birliktelik ve oluşumun yönlendirmeleri ile daha anlamlı bir çaba içine girmiştir. IPCC’de çalışan iklim değişikliği çalışmalarına katkı sağlayan birçok bilim insanı geçmiş ve gelecek için değerlendirme yapmışlardır. Ülkemiz için de gelecek için değerlendirme yapılması için geçmiş hakkında fikir sahibi olunması gereklidir.

Yapılan bilimsel çalışmalar ve model sonuçları orta enlem kuşağında bulunan Türkiye’nin iklim değişikliğinden en çok etkilenecek ülkeler arasında olduğunu göstermektedir. Bu kapsamda Şen tarafından TİKDEK 2013 kapsamında yapılan iklim verilerinin 1960 yılından itibaren değerlendirilmesinin de Türkiye’de yaz aylarında ortalama sıcaklıkların önemli derecede arttığı tespit edilmiştir. Yaz ayları kadar olmasa

da sonbahar ve ilkbahar aylarında sıcaklığın arttığı ancak kış aylarındaki sıcaklıklarda önemli değişikliğin olmadığı belirlenmiştir. Bu da sıcaklık döneminin genişlediği anlamına gelmektedir. Yıllık ortalama sıcaklıklarında bu bağlamda artış gösterdiği anlamına gelir. Sıcaklık artışları yüzyıllık değişimlere dönüştürüldüğünde çoğu istasyonda rakam 2-4 °C arasına tekabül etmektedir. Ancak bazı iç ve doğu bölgesi istasyonlarında bu rakam birliktelik arz edecek şekilde 4-6°C arasına çıkmaktadır. (Şen 2013)

3.3. Türkiye'de İklimin Gelecekteki Değişimi

İklimin olumlu veya olumsuz etkilerinden kaynaklı olarak insan hayatının nasıl etkileneceği önemlidir. İnsanlar sosyal ve ekonomik açıdan en iyi yaşamı sürdürmek için hayatlarındaki olumsuzlukları gidermeye çalışırlar, iklimden kaynaklı olumsuzlukları da gidermenin yolunu veya bunlar için önlem anlamın yolunu bulmaya çalışırlar. Daha iyi yaşam için birçok kurumlar, sivil toplum örgütleri ve yerel yönetimler gibi kuruluşlar ve topluluklar iklimde meydana gelebilecek değişimlerin, insan hayatına etkilerinin doğru saptanabilmesi için çalışmalar yapmaktadır. Bu çalışmalardan en önemlisi modelleme çalışmalarıdır. IPCC'de yüzlerce bilim adamının katkıda bulunduğu en son 5. Değerlendirme Raporu'nda, 40 farklı senaryo gözden geçirilmiştir.

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin (IPCC) 5. Değerlendirme Raporu kapsamında RCP8.5 senaryosuna göre ortalama sıcaklıkların yüzyılın sonlarına doğru Türkiye'de yıllık sıcaklıkların günümüze göre 1,4 ile 6,6 °C arasına artacağını öngörmektedir. Öngörü kapsamında sıcaklık artışının en yüksek görüleceği yerler olarak, ülkemizin güneydoğusunun yarısında görüleceğini, sıcaklık artışının ülkemiz için daha az görüleceği yerler ise genel olarak kıyı bölgelerini kapsayacağı öngörülmektedir.

Bu çerçevede, iklim değişikliğinin tahmini için sera gazlarına (Karbon dioksit (CO₂), Metan (CH₄), Diazotmonoksit (N₂O) ve Florlu gazlar) bağlı olarak senaryolar geliştirilmiştir. Çalışmada da bu senaryolarından doğadaki sera gazlarının %72' sini oluşturan CO₂ gazı baz alınarak geliştirilen RCP8.5 senaryosu çerçevesinde HadGEM2-ES küresel iklim modeli sonuçlarının kapsamında bölgesel iklim modeli olan RegCM4.3.4 koşullanması ile elde edilmiş model verileri kapsamında yürütülmüştür.

4. ANALİZ

Rezervuarlar, göller, akarsu kanalları vb. dahil olmak üzere su kaynaklarının yönetiminde, su bütçesi bileşenlerinin değerlendirilmesi önemli yere sahiptir. Su kaynakları sistemlerinin yönetimi ve tasarımı, buharlaşmanın sebep olduğu kayıpların çeşitliliği ve büyüklüğü hakkında kapsamlı bilgi gerektirir ve önemlidir. Bu kadar önemli olmakla birlikte, buharlaşmanın tahmini ve hesaplanması için kullanılan birçok yöntem vardır. Deneysel yöntem, yerinde hesaplama, buharlaşma hızının tahmini ve tava-buharlaştırma ile tahminler yapılmaktadır. Buharlaşmanın hesaplanmasındaki zorluk nedeniyle deneysel olarak birkaç hidrolog, buharlaşmayı hesaplamak ve muhtemel doğruluklara göre hesaplamak için denklemler sunmuş ve geliştirmiştir. Bu yöntemler buharlaşmayı doğrudan etkileyen farklı meteorolojik parametrelere dayanmaktadır. Her ne kadar bu denklemlerin hepsi tam olarak doğrudur diyemediğimiz halde, farklı iklim koşullarında veya kapsamlı olarak test edildikleri alanların iklim koşullarında kullanımları olmasına rağmen, tatmin edici sonuçlar vermektedir. Tahmin için çok sayıda yöntem kullandıkları iklimsel parametrelere göre gruplandırılabilir. Bu çalışmada buharlaşmanın tahmini için kullanılan yöntemler ve denklemler Penman-Monteith(Kombinasyon), Hargreaves, Hamon, Thornthwaite (Sıcaklık Bazlı), Romanenko (Nem Bazlı) ve Priestley Taylor, Turc ,Jensen-Haise, Düzeltilmiş Jensen-Haise 'dir (Radyasyon Bazlı) şeklindedir.

Seçilen standart denklem deneysel olarak FAO'nun (RG Allen, Smith, Pereira ve Perrier, 1994a; RG Allen, Smith, Perrier ve Pereira, 1994b; RGP Allen, LS Raes, D. Smith, M., 1998) tavsiyelerine göre, bir değerlendirme standardı olan Penman-Monteith denklemi kullanıldı. Bu çalışma, bu denklemlerde yer alan ampirik sabitlerin yerine göre, bölgeye göre kalibre edilmiş değerlerle yöntemlerin karşılaştırılması ve değerlendirilmesini içerir. Çalışma kapsamında Atatürk Baraj Gölü'nün günümüz (2015-2018), yakın gelecek (2045-2055) ve uzak gelecek (2085-2095) için, yöntemler kullanılarak buharlaşma tahminlerini içerir ve farklı yöntemler kullanılarak yapılan hesapların kabul edilebilir olması tartışılmıştır.

4.1. Çalışma Bölgesi ve Verileri

Çalışma kapsamında ülkemiz ve bulunduğu bölge için önemli yere sahip olan ve bunun doğrultusunda seçilen Atatürk Barajı, Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde Adıyaman ilçesi ve Şanlıurfa il sınırındaki Fırat Nehri üzerinde

bulunmaktadır. Baraj, Şanlıurfa İli, Bozova'dan Adıyaman'a uzanmaktadır. Atatürk baraj rezervuarı, Van Gölü ve Tuz Gölünden sonra Türkiye'nin 3. büyük rezervuarı olarak bilinmektedir. Rezervuar 817 km² alana sahip ve 48,7 kilometreküp su kapasitesine sahiptir. Baraj hem elektrik üretimi hem de bölgedeki ovaları sulamak için büyük bir öneme sahiptir. Bu bilgiler ışığında çalışma alanı olarak bu baraj rezervuarı seçilmiştir.

Bu çalışma kapsamında yöntemler dahilinde kullanılacak meteorolojik veriler mevbiis.mgm.gov.tr (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2019) tarafından elde edildi. Çalışma verisi olarak Bozova istasyonuna ait veriler kullanılmıştır. Elde edilen veriler kapsamında buharlaşma ölçüm verilerinin eksik olması doğrultusunda yöntemlerle yapılan buharlaşma hesaplarının doğruluğunun ve kullanılabilirliğinin karşılaştırılması standart olarak kabul edilen Penman-Monteith denklemi kullanılarak yapılmıştır. Yapılan çalışma kapsamında, Atatürk Baraj Gölünün su yüzeyi buharlaşmasının günümüzdeki durumunun ortaya konması için 2015-2018 yılları arası dönemi kapsayan istasyon verileri ile model verileri günlük ve aylık kullanılarak, buharlaşmanın yakın gelecekteki (2045-2055) ve uzak gelecekteki (2085-2095) durumunun ortaya konması için model verileri aylık olarak kullanılmıştır.

Model verisi olarak, Atatürk Baraj Gölü su yüzeyi buharlaşması tahmini için, iklim değişikliği senaryolarından RCP8.5 senaryosu çerçevesinde, HadGEM2-ES küresel iklim modeli sonuçlarının bölgesel iklim modeli olan RegCm4.3.4 ile koşulması sonucu elde edilmiş model verileri kullanılmıştır. Bu senaryonun seçilme sebebi ülkemiz için geliştirilmiş ve en güncel olan aynı zamanda olabilecek en kritik senaryo olmasından kaynaklı olarak seçilmiştir.

Dönemler için hava sıcaklığı, güneş radyasyonu, bağıl nem ve rüzgar hızı gibi çeşitli meteorolojik parametreler istasyon verilerinden ve model verilerinden elde edilmiştir. Seçilen veriler istasyonlardan günümüz buharlaşma hesaplamaları için günlük olarak toplandı ve daha sonra bu çalışmada bazı yöntemler ve model verileri ile karşılaştırma yapmak için aylık değerlere entegre edilerek kullanıldı. Kullanılan model çerçevesinde sadece aylık verilerin içermesinden kaynaklı olarak gelecek dönemlerde tahmin yapmak için verileri aylık veriler şeklinde kullanılmıştır.

Kullanılan aylık veriler doğrultusunda 2045-2055 ve 2085-2095 dönemleri için gelecek için yapılan buharlaşma tahminlerinde ve yöntemler arasındaki karşılaştırma aylık olarak yapılmıştır.

4.2. Buharlaşma Hesaplama Yöntemleri

4.2.1. Kombinasyon Denklemler

i. Penman-Monteith Denklemi:

Penman-Monteith yöntemi meteorolojik veriler kullanılarak hesaplanabilmektedir. 1948 yılında Penman tarafından geliştirildi (H.L. Penman, 1948) ve daha sonra 1965 yılında Monteith tarafından değiştirildi (J. Monteith, 1965). Penman-Monteith, Penman modelinin direnç fikrini, aerodinamik direnci r_a ile bütünleştirilerek, aerodinamik parametresine fiziksel bütünlük açısından daha iyi bir tutarlılık getirmektedir. Penman-Monteith denklemi açık su yüzeyinde gerçekleşen günlük buharlaşma hesabını:

$$\lambda E = \frac{\Delta(R_n - N) + \frac{86400 \rho_a c_p (e_s - e_a) d}{r_a}}{\Delta + \gamma d} \quad (4.1)$$

olarak tanımlanmıştır. Burada; R_n , net radyasyonu ($\text{MJ m}^{-2} \text{gün}^{-1}$); $c_p = 0.001013$ ($\text{MJ kg}^{-1} \text{°C}^{-1}$) özgül ısıyı temsil eder ve $\rho_a = 1$ (kg m^{-3}) hava yoğunluğunu gösterir. 86400, bir gündeki saniye sayısıdır; bu, denklemdeki farklı terim birimlerinin tutarlılığı için gerekli olan bir durumdur.

Monteith değişkeni olarak tanımlanan d , (J. L. Monteith, 1981), uzun dalga net radyasyonun bileşenini hesaplarken yüzeydeki sıcaklığı kullanmak yerine, havanın sıcaklığının kullanılması amaçlanarak eklenmiştir. Bu kapsamda d düzeltme olarak kullanılmaktadır.

$$d = \frac{1 + 4\sigma(T_a + 273.13)^4 r_a}{86400 \rho_a c_p} \quad (4.2)$$

4.2.2. Sıcaklık Tabanlı Denklemler

i. Hargreaves Denklemi

(Hargreaves ve Samani, 1985) Hargreaves denklemi:

$$ET_o = CH * 0.408 * R_a * (T_a + 17.8) (\sqrt{T_{max} - T_{min}}) \quad (4.3)$$

olarak tanımlanmıştır. Burada; T_{max} ve T_{min} günlük maksimum ve minimum hava sıcaklığını ($^{\circ}\text{C}$), T_a günlük ortalama hava sıcaklığını ($^{\circ}\text{C}$), ve R_a atmosfer dışı radyasyonu ($\text{MJ m}^{-2} \text{gün}^{-1}$), CH , Hargreaves katsayısını gösterir. Denklemden kullanılan 0.408 ise $\text{MJ m}^{-2} \text{gün}^{-1}$ birimlerinin gün^{-1} birimine dönüştürmek için gerekli olan katsayıdır. Denklemden, CH değeri Hargreaves denklemlerinde 0.0023'e sabitlenilmiştir. Hargreaves yöntemi sıcaklığa dayalı bir yöntem olarak kabul edilir,

ancak Xu ve Singh'e göre Hargreaves yöntemi radyasyona dayalı bir yöntemdir (Xu ve Singh, 2000). Yukarıda belirtilen Hargreaves yöntemi için gerekli olan dünya dışı radyasyonunun, enlem, saat ve gün işlevinin tarihini kullanılarak hesaplanabildiği için hiçbir gerekli radyasyon verisi yoktur (R.G. Allen, L. S. Raes, D. Smith, M., 1998). Hargreaves yönteminde, ortalama hava sıcaklığı, maksimum ve minimum hava sıcaklığı ortalaması olarak hesaplanırken, yılın zaman ve konum bilgisinden R_a , ortalama hava sıcaklığı maksimum ve minimum hava sıcaklığının ortalamasından da olarak hesaplanabilmektedir. Bu nedenle, yöntemin hesabı için gerekli olan parametreler sadece günlük maksimum ve minimum hava sıcaklığı ölçümleridir.

ii. Hamon Denklemi:

Hamon denklemi 1956 yılında Hamon tarafından geliştirilmiştir (D. Haith ve L. Shoenaker, 1987). Hamon denklemi:

$$PET = k \times 0.165 \times 216.7 \times N \times \left(\frac{e_s}{T_a + 273.3} \right) \quad (4.4)$$

olarak tanımlanmaktadır. Burada k , 1^1 (birimsiz) orantılılık katsayısıdır, N güneşin teorik saatlerini gösterir, e_s doymuş buhar basıncı, T_a günlük ortalama hava sıcaklığıdır.

Hamon yöntemi kullanılarak hesaplanan buharlaşma güvenilir olmakla birlikte, yaz aylarında sıcaklıklardaki artışlardan kaynaklı ve sıcaklığa dayalı bir yöntem olduğundan yaz aylarında yapılan buharlaşma oranları fazla tahmin edilirken, bunun aksine kış aylarındaki sıcaklığın az görülmesinden kaynaklı olarak kış aylarındaki buharlaşma tahminleri küçümsemiştir.

iii. Thornthwaite Denklemi:

Thornthwaite denklemi sıcaklığa (C. W. Thornthwaite, 1948) dayanır ve gün ışığı saat ayarı yapılır. Thornthwaite denklemi:

$$PET_{düzeltilmemiş} = 16 \times \left(\frac{10 \times T_a}{I} \right)^\alpha \quad (4.5)$$

$$\alpha = 675 \times 10^{-9} \times I^3 - 771 \times 10^{-7} \times I^2 + 1792 \times 10^{-5} \times I + 0.49239$$

$$i = \left(\frac{t}{5} \right)^{1.514}$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} i$$

olarak tanımlanmaktadır. Burada T_a ve t , aylık ortalama hava sıcaklığıdır. Elde edilen değerler, ayın gerçek uzunluğuna ve ilgili enlem için teorik güneşlenme saatlerinde eklenmesiyle, denklem:

$$PET = PET_{düzeltilmemiş} \times \left(\frac{N}{12}\right) \times \left(\frac{d}{30}\right) \quad (4.6)$$

olarak tanımlanır ve bu formül yardımıyla yapılan tahminler daha da iyileştirilir. Burada; N güneşin teorik saatleridir, d her aydaki gerçek gün sayısıdır.

Çalışmada Thornthwaite yönteminin kullanım sebebi ise, buharlaşma tahmininde kullanılan en eski yöntemlerden biri olduğundan diğer yöntemlerle arasında yapılan karşılaştırmalarda nasıl farklılar göstereceğini ve çalışma bölgesi için kullanılabilirliğini görmek için kullanılmıştır.

4.2.3. Nem Bazlı Denklemler

i. Romanenko Denklemi:

1961 yılında Romanenko tarafından geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yöntem bağıl neme dayanır. Denklemden kullanılan meteorolojik veriler bağıl nem ve hava sıcaklığı verileridir. Romanenko denklemi:

$$PET = 0.018(25 + T_a)^2(100 - RH) \quad (4.7)$$

olarak tanımlanmaktadır. Burada; T_a aylık ortalama hava sıcaklığıdır, RH yüzde cinsinden bağıl nemdir. Buharlaşma hesabı aylık olarak yapılmaktadır yani hesaplanan buharlaşma $mm\ ay^{-1}$ şeklindedir.

4.2.4. Radyasyon Tabanlı Denklemler

i. Turc Denklemi:

Turc 1961 yılında buharlaşmayı günlük bazda mm olarak (10 günlük periyotlar) hesaplamıştır. Turc tarafından sunulan bu metot Batı Avrupa'nın geniş iklim koşulları altında potansiyel buharlaşmanın hesaplanması için aşağıdaki denklemleri ortaya koymuştur:

$$ET = 0.013 \times \frac{T}{T+15} (R_s + 50) \quad for \quad RH \geq 50 \quad (4.8)$$

$$ET = 0.013 \times \frac{T}{T+15} (R_s + 50) \left(1 + \frac{50-RH}{70}\right) \quad for \quad RH < 50 \quad (4.9)$$

Burada; T , °C cinsinden ortalama hava sıcaklığını belirtirken, R_s , $cal\ cm^{-2}gün^{-1}$ cinsinden toplam güneş radyasyonunu ve RH ise yüzde cinsinden bağıl nemi göstermektedir.

ii. Priestley ve Taylor Denklemleri:

1972 yılında Priestley ve Taylor, potansiyel buharlaşma için gerekli şartlara karşılık gelen, yüzey alanlarının genel olarak nemli olduğu koşullar için, Penman tarafından 1948 yılında sunulan kombinasyon metodun basit bir versiyonu olarak bir metot sunmuşlardır. Islak yüzeylerden ve okyanuslardan oluşan verileri analiz ettiler. Metotta aerodinamik bileşenler çıkartılmış ve enerji bileşeni genel olarak su kaplı olan alanın nemli olması veya nemli koşullar altında olmasından dolayı bir katsayıyla $\alpha = 1,26$ ile çarpılmıştır (Xu ve Singh, 2000). Denklem:

$$ET = \alpha \times \frac{1}{\lambda} \times \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \times R_n \quad (4.10)$$

olarak tanımlanmıştır. Burada; R_n , net radyasyon ($\text{MJ m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$); γ , psikometrik katsayı ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); Δ , doymuş buhar basıncı ile sıcaklık eğrisinin eğimi ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); $\lambda \approx 2.4644$, buharlaşma gizli ısıdır (MJ kg^{-1}), α ise Priestley-Taylor katsayısı olarak bilinen katsayıdır.

iii. Jensen ve Haise Denklemleri:

(M. Jensen ve Haise, 1963b) buharlaşma tahmini için aşağıdaki denklemi sundu,

$$E = (0.025T_a + 0.08) \frac{R_s}{\lambda} \quad (4.11)$$

Burada; T_a günlük ortalama hava sıcaklığıdır ve R_s toplam güneş radyasyonudur. Jensen ve Haise denklemiyle tanımlanan bir problem, genellikle ilkbaharda buharlaşma tahmininin hafife alındığı, yaz aylarında ise buharlaşma oranının fazla tahmin edildiğidir. Aşırı ve küçük tahminler, radyasyona verilen daha az ağırlıktan kaynaklanırken, sıcaklığa daha fazla ağırlık verilir (Feddesl & Lenselink, 1994).

iv. Geliştirilmiş Jensen ve Haise Denklemini:

(Mujahit ,2019) buharlaşma tahmini için Jensen-Haise tarafından kullanılan denklemi gün ışığı saati ve maksimum sıcaklık ilavesi yaparak aşağıdaki denklemi sundu:

$$E = 0.14 \times \left(\frac{N}{T_{max}} \times T_a + 0.12 \right) \frac{R_s}{24 \times \lambda} + 1.16 \quad (4.12)$$

Burada; N , teorik güneş ışığının saatlerini belirtirken, T_{max} maksimum günlük sıcaklığı, T_a ortalama günlük sıcaklığı, λ buharlaşma gizli ısısını, R_s toplam güneş radyasyonunu gösterir.

Jensen-Haise denklemi, kışın ve yaz aylarında aşırı tahminleri hafife almaktadır. Gün ışığı terimi, denklemde olduğu gibi her iki mevsimde de kış ve yaz olmak üzere buharlaşmanın aşırı ve az tahmin edilmesini azaltır. Buharlaşma oranı, bir günde kaydedilen maksimum sıcaklık ile gündüz saatlerine bağlıdır (Mujahit ,2019).

Farklı yazarlar tarafından, toplama prosedürlerindeki ve meteorolojik verilerin standartlarındaki geniş çaplı tutarsızlıklar nedeniyle çalışmalarında birçok farklı denklemle formüle edilmiş ve kullanılmıştır. Kullanılan ampirik denklemlerin performansında bir konumdan diğerine göre farklılık vardır ve kullanılan parametrelerden kaynaklı olarak aynı bölgede kullanılsalar bile yapılan buharlaşma tahminleri arasında farklılıklar vardır.

Tablo 4.1. Bu çalışmada kullanılan buharlaşma veya potansiyel buharlaşma hesaplamaları için gerekenler.

Yöntemler	Tür	Denklem	Birim
Penman-Monteith	Kombinasyon*	$E = \frac{\Delta(R_n - N) + \frac{86400 \rho_a c_p (e_s - e_a) d}{r_a}}{\Delta + \gamma d}$	mm gün ⁻¹
Hargreaves	T*	$ET_o = 0.0023(T_a + 17.8)(\sqrt{T_{max} - T_{min}})R_a$	mm gün ⁻¹
Hamon	T*	$PET = k \times 0.165 \times 216.7 \times N \times \left(\frac{e_s}{T_a + 273.3} \right)$	mm gün ⁻¹
Thornthwaite	T*	$PET_{non-corrected} = 16 \times \left(\frac{10 \times T_a}{I} \right)^\alpha$	mm ay ⁻¹
Romanenko	H*	$PET = 0.018(25 + T_a)^2(100 - RH)$	mm ay ⁻¹
Turc	R*	$ET = 0.013 * \frac{T}{T + 15} (R_s + 50) \text{ for } RH \geq 50$	mm gün ⁻¹
Priestly-Taylor	R*	$ET = \frac{1}{\lambda} * \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} * R_n * \alpha$	mm gün ⁻¹
Jensen-Haise	R*	$E = (0.025T_a + 0.08) \frac{R_s}{28.6}$	mm gün ⁻¹
Düzeltilmiş Jensen-Haise	R*	$E = 0.14 \times \left(\frac{N}{T_{max}} \times T_a + 0.12 \right) \frac{Rs}{24 \times \text{Lambda}} + 1.16$	mm gün ⁻¹

Kombinasyon * : Enerji bütçesi ve kütle Transfer Denklemlerine dayanan denklemler, T*, sıcaklığa dayalı yöntemler, H*, nem bazlı modeller, R*, radyasyona dayalı yöntemler

4.3. Elde Edilen Bulgular

Buraya kadar olan bölümlerde buharlaşma kavramı, iklim değişikliği ve iklim değişikliği etkileri ile ilgili bilgiler verilmiş, buharlaşmayı hesaplama yöntemleri bölümünde çalışmada kullanılacak yöntemler sunulmuştur. Çalışma ile Atatürk Baraj gölü yüzeyinden oluşacak buharlaşmanın günümüzdeki durumunun (2015-2018) ortaya

konması,model verileri kapsamında yakın gelecekteki durumu (2045-2055) ve gelecekteki durumun (2085-2095) analiz edilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda yapılan analiz çalışması; buharlaşma analizleri, günümüz ve gelecek durum analizi olarak ortaya konmuştur.

4.3.1. Buharlaşma Analizleri

Buharlaşma analizleri için referans ve potansiyel buharlaşma olarak buharlaşma hesaplama yöntemleri bölümü kapsamında verilen yöntemlerle hesaplamalar yapılmıştır. Yöntemler kapsamında hesaplanan buharlaşmanın zaman serileri 2015-2018 senesi için istasyon verisi olarak, 2045-2055 ve 2085-2095 dönemleri için model verisi olarak çizdirilmiştir.

Tablo 4.2. Genelleştirilmiş buharlaşma denklemleri

Genelleştirilmiş Denklemler	Orijinal Denklemler	Orijinal Katsayı
$ET = a(T + b) \frac{Rs}{\lambda}$	(Hargreaves & Samani, 1985)	a = 0.0023, b = 17.8
$ET = a \left(\frac{e_s}{T_a + 273.13} \right) N \times k \times 216.7 + b$	(D. A. Haith & L. L. Shoenaker, 1987)	a = 0.165, b = 0
$ET = a \left(\frac{10 \times T_a}{I} \right)^\alpha$	(C. W. Thornthwaite, 1948)	a = 16
$PET = a(25 + T_a)^2(100 - RH)$	(Romanenko, 1961)	a = 0.018
$ET = a \times \frac{T}{T + 15} (R_s + 50) + b \text{ for } RH \geq 50$	(Turc, 1961)	a = 0.013, b = 0
$ET = a \times \frac{T}{T + 15} (R_s + 50) \left(1 + \frac{50 - RH}{70} \right) + b \text{ for } RH < 50$		
$ET = a \times \frac{R_n}{\lambda} \times \frac{\Delta}{\Delta + \gamma}$	(Priestly & Taylor, 1972)	a = 1.26
$ET = a(T + b) \frac{Rs}{\lambda}$	(M. Jensen & Haise, 1963b)	a = 0.025 b = 0.08
$E = 0.14 \times \left(\frac{N}{T_{\max}} \times T_a + 0.12 \right) \frac{Rs}{24 \times \text{Lambda}} + 1.16$	(A. Mujahid, 2019)	a = 0.14 b = 1.16

a ve b çalışma alanına göre tahmin edilecek değişkenlerdir.

Buharlaşma zaman serilerine bakıldığında buharlaşma değerlerinin yöntemler kapsamında çok farklı değerler verdiği gözlenmektedir. Burada grafikler incelendiğinde zaman serilerinde 2015-2018 dönemi için buharlaşmanın en düşük değerlerinin

Priestley ve Taylor metodu ile elde edilen değerlerin olduğunu, en yüksek değerlerin ise Hamon ile Hargreaves metodu ile elde edilen değerlerin olduğu gözlenmektedir. 2045-2055 dönemi için en yüksek değerlerin buharlaşma tahmini olarak Jensen-Haise ve Hamon olarak en düşük değerlerin ise Thorntwaite metodu ile hesaplanan buharlaşma değerlerinde olduğu gözlenmektedir. 2085-2095 dönemi için en yüksek değerlerin buharlaşma olarak Hamon ile Hargreaves metodu ile elde edilen değerlerin olduğu, en düşük değerlerin ise Turc metodu ile hesaplanan buharlaşma değerlerinde olduğu gözlenmektedir.

Yöntemlerin çalışma alanı için birbirinden farklı değerler verdiği açıkça gösterilmektedir. Bu kapsamda, bölgeye ve ülkemiz koşullarına uygun yöntemlerin arazi çalışmaları ile belirlenmemiş olmasından ve bunun bir sonucu olarak ülkemiz ve çalışma bölgesine uygun yöntem bilinmediğinden çalışma sırasında değerlendirmeler, deneysel olarak FAO'nun (RG Allen, Smith, Pereira ve Perrier, 1994a; RG Allen, Smith, Perrier ve Pereira, 1994b; RGP Allen, LS Raes, D. Smith, M., 1998) tavsiyelerine göre denklemleri, bir değerlendirme standardı olarak Penman-Monteith denklemi kullanılarak yapıldı.

Belirli iklim koşullarına göre ve bulunduğu coğrafyaya göre doğru sonuçlar alabilmek amacıyla yöntemlerde değişiklikler yapılmıştır. Orijinal sabitin tutarsızlığından dolayı, yöntemlerin sonuçları sorgulanabilir. Bazı iklim koşullarına uygulanabilir veya örneğin Priestley ve Taylor denklemi için özel olarak geliştirildikleri deneysel formüllerin orijinal sabit değerlerinin kullanılması, $a = 1.25$ değerinde Hollanda'daki bir gölden buharlaşma için de Bruin tarafından kullanılmıştır. Kullanılan sabit değer sıg derinlik özelliklerine sahiptir, başka bir yerde kullanılırsa sorgulanabilir sonuçlara yol açabilir. (de Bruin ve Keijman, 1979). Bu çalışmada yapılan buharlaşma tahminlerinde de yöntemlerin iklim koşullarına ve bölgeye göre buharlaşma sonuçlarının doğru bir şekilde hesaplanabilmesi için denklemler de kullanılan sabit değerler çalışma bölgesine göre kalibre (Tablo 4.3) edilmiştir. Kalibre edilirken Penman-Monteith standart alınmış ona göre düzenleme yapılmıştır. Kullanılan yöntemler buharlaşmayı belirli bir doğrulukta hesaplayamaz, buharlaşma hızları fazla tahmin edilir veya çok yüksek bir hatayı hafife alır.

Orijinal formülün değerleri bu araştırmada kullanılmamış, ancak tatmin edici sonuçlar elde etmek için denklemlerde gerekli değişiklikler yapılmıştır.

Tablo4.3. Denklemler için Yerel Kalibrasyonlu sabit değerler

Genelleştirilmiş Denklemler	Orijinal Denklem	Orijinal Katsayı	Yerel Kalibrasyonlu Katsayılar
$ET = a(T + b) \frac{Rs}{\lambda}$	(Hargreaves & Samani, 1985)	a = 0.0023, b = 17.8	a = 0.0023, b = 17.8
$ET = a \left(\frac{e_s}{T_a + 273.13} \right) N \times k \times 216.7 + b$	(D. A. Haith & L. L. Shoenaker, 1987)	a = 0.165 b = 0	a = 0.167
$ET = a \left(\frac{10 \times T_a}{I} \right)^\alpha$	(C. W. Thornthwaite, 1948)	a = 16	a= 58.5 (Oca-Şub) a=27.5 (Mar-Nis) a=13 (May-Haz) a=10 (Tem-Eki) a=42 (Kas-Ara)
$PET = a(25 + T_a)^2(100 - RH)$	(Romanenko, 1961)	a = 0.018	a = 0.0019
$ET = a \times \frac{T}{T + 15} (R_s + 50) + b \text{ for } RH \geq 50$	(Turc, 1961)	a = 0.013 b = 0	a = 0.021, b = 0.7
$ET = a \times \frac{T}{T + 15} (R_s + 50) \left(1 + \frac{50 - RH}{70} \right) + b \text{ for } RH < 50$			
$ET = a \times \frac{R_n}{\lambda} \times \frac{\Delta}{\Delta + \gamma}$	(Priestly & Taylor, 1972)	a = 1.26	a = 0.62
$ET = a(T + b) \frac{Rs}{\lambda}$	(M. Jensen & Haise, 1963b)	a = 0.025 b = 0.08	a = 0.014, b = 0.16
$E = 0.14 \times \left(\frac{N}{T_{\max}} \times T_a + 0.12 \right) \frac{Rs}{24 \times \text{Lambda} + 1.16}$	(A. Mujahid, 2019)	a = 0.14 b = 1.16	a = 0.14 b = 1.16

Denklemlerde yapılan sabitlerin yere göre kalibrasyonlarına göre yöntemlerle buharlaşma hesapları yapılmıştır. Buharlaşmalar, Romanenko ve Thornthwaite hariç, mm gün⁻¹biriminde olan (Tablo 4.1) 'de verilen denklemler kullanılarak hesaplanmıştır. Aylık olarak hesap yapılan Romanenko ve Thorntwaite yöntemleri ile Penman-Monteith yönteminin karşılaştırma yapabilmek adına Penman-Monteith buharlaşma değerlerinin de mm ay⁻¹ortalaması alınır. Mm ay⁻¹cinsinden birimleri olan yöntemlerle tahmin edilen buharlaşma oranları arasında genel bir ilişki (Şekil 4.1) 'de verilmiştir. Genel olarak , PM denklemi kullanılarak hesaplanan buharlaşma oranları, değerleri mm gün⁻¹şeklindedir, karşılaştırma yapılabilmek adına dönüşüm yapılmıştır.

Tablo4.4. Seçilen yöntemler için aylık buharlaşma tahmini oranları ve bağıl hata

Ay	E_{PM}	E_{THW}	(%) Hata	E_{RK}	(%) Hata
Ocak	27.86	8.09	-70.95	50.41	80.90
Şubat	32.70	29.90	-8.58	59.05	80.58
Mart	59.96	50.16	-16.35	72.68	21.20
Nisan	74.58	98.32	31.83	93.19	24.94
Mayıs	102.72	90.60	-11.80	97.58	-5.01
Haziran	121.04	138.04	14.04	120.32	-0.59
Temmuz	129.04	140.17	8.62	133.93	3.79
Ağustos	135.83	127.30	-6.28	126.37	-6.96
Eylül	99.05	85.99	-13.19	129.08	30.32
Ekim	99.44	41.15	-58.62	78.78	-20.78
Kasım	57.48	57.71	0.40	71.43	24.27
Aralık	46.03	17.22	-62.60	51.44	11.75

E_{PM} = Penman-Monteith ($mm\ ay^{-1}$), E_{RK} = Romanenko ($mm\ ay^{-1}$), E_{THW} = Thornthwaite ($mm\ ay^{-1}$)

Buharlaşma hesaplarının istasyon verileriyle günlük hesaplarında yapılan karşılaştırmalarda kabul edilebilir sonuçlar alınmıştır. Bunun sebebi günlük yapılan buharlaşma tahminlerinin birbirlerine yakın değerler almasından kaynaklıdır. Yöntemlerle yapılan günlük buharlaşma tahminleri ile Penman-Monteith yöntemi ile yapılan karşılaştırmalarda çıkan sonuçların yüzde hata değerleri olarak az değerler alması bu yöntemlerin bölge için yöntemlerin kabul edilebilirliğini ve kullanılabilirliğini sağlamıştır (Şekil 4.2 , Şekil 4.3 ve Tablo 4.5).

Buharlaşma tahminlerinde referans yöntem olarak alınan Penman-Monteith yöntemine göre sıcaklık tabanlı yöntemler olan Hargreaves ve Hamon yöntemlerinde, yaz aylarında daha fazla, kış aylarında da nispeten daha az buharlaşma tahmini yapılmıştır. Bu yöntemlerin sıcaklığa dayalı yöntemler olmasından yazın artan sıcaklıklardan dolayı yöntemlerle yapılan buharlaşma tahmini yazın daha fazla yapılmıştır, kışın ise azalan sıcaklıklarla beraber tahmin değerlerinde daha az sonuçlar görülmüştür. Radyasyon tabanlı yöntemlerde Turc ve Jensen-Haise yöntemleri de sıcaklığa dayalı yöntemlere benzer şekilde buharlaşma tahmini yapmışlardır, bunun yanından radyasyona dayalı yöntemler arasında olan Düzeltilmiş Jensen-Haise yöntemine bakıldığında ise Penman-Monteith yöntemi ile oldukça yakın sonuçların alındığı görülmektedir. Bunun sonucu olarak da Jensen-Haise yöntemine getirilen günışığı saati ve maksimum sıcaklık ilavesiyle daha kullanılabilir sonuçların alındığı görülmüştür.

Tablo 4.5. Seçilen yöntemler için günlük buharlaşma tahmini oranları ve bağıl hata

Ay	E_{PM}	E_{HG}	(%) Hata	E_{HM}	(%) Hata	E_{JH}	(%) Hata	E_{PT}	(%) Hata	E_T	(%) Hata	E_{DJH}	(%) Hata
Ocak	1.22	1.00	-17.66	0.93	-23.58	0.74	-39.27	1.54	26.28	0.70	-42.37	1.77	45.08
Şubat	2.00	1.67	-16.66	1.27	-36.81	1.25	-37.49	2.09	4.18	1.30	-35.32	2.23	11.50
Mart	3.02	2.65	-12.22	1.81	-40.02	2.10	-30.43	2.75	-9.06	2.15	-28.68	3.01	-0.33
Nisan	3.73	4.12	10.54	2.68	-28.25	3.36	-10.06	3.48	-6.75	3.37	-9.60	4.02	7.77
Mayıs	4.63	5.40	16.57	3.84	-17.15	4.28	-7.68	4.07	-12.04	4.14	-10.67	4.71	1.73
Haziran	5.69	6.71	17.95	5.58	-2.01	5.85	2.76	4.78	-16.04	5.82	2.19	5.61	-1.41
Temmuz	5.70	7.38	29.55	6.97	22.36	6.68	17.14	4.99	-12.54	6.79	19.03	5.73	0.53
Ağustos	5.69	6.77	19.01	6.54	15.03	5.96	4.90	4.92	-13.46	5.90	3.72	4.98	-12.48
Eylül	4.15	5.12	23.45	4.79	15.57	4.51	8.67	3.89	-6.20	4.92	18.69	4.00	-3.61
Ekim	3.14	3.02	-4.01	2.81	-10.72	2.60	-17.25	3.01	-4.17	2.93	-6.79	2.92	-7.01
Kasım	2.20	1.64	-25.25	1.54	-29.88	1.39	-36.66	2.32	5.55	1.58	-28.20	2.20	0.00
Aralık	1.74	1.04	-40.12	1.05	-39.85	0.79	-54.91	1.67	-4.16	0.90	-48.41	1.80	3.45

E_{PM} = Penman-Monteith (mm gün⁻¹), E_{HG} = Hargreaves (mm gün⁻¹), E_{HM} = Hamon (mm gün⁻¹), E_{JH} = Jensen and Haise (mm gün⁻¹), E_{PT} = Priestly and Taylor (mm gün⁻¹), E_T = Turc (mm gün⁻¹), E_{DJH} = Düzeltilmiş Jensen and Haise (mm gün⁻¹).

Her yöntemin göreceli hatası (Tablo 4.5) 'de verilmiştir. Hata değerlerinin aylık hesap yapan yöntemlere göre yüzdelik olarak az değerler almasının sebebi günlük olarak hesaplanan yöntemlerin birbirlerine yakın buharlaşma tahminleri yapmasından kaynaklıdır. Bu da yapılan buharlaşma tahminlerinin güvenilir sonuçlar alındığını göstermektedir. Yapılan hata karşılaştırması sonucunda, en az hata değerine sahip denklemler Düzeltilmiş Jensen-Haise ve Priestley-Taylor yöntemleridir, bu yöntemlerle yapılan tahminlerin nispeten diğer yöntemlere göre daha güvenilir sonuçlar alındığı görülmüştür. Çalışma kapsamında çıkarılan sonuca göre bu iki yöntemi diğer yöntemlere göre daha kullanılır kabul edebiliriz.

4.3.1.1. Buharlaşma Yöntemleri Arasındaki Korelasyon

Daha önce bahsedildiği gibi hesaplanan değerlerin, bir ay boyunca günlük buharlaşma oranını ortalaması almaları için ortalaması alındı. Dört yıl boyunca (2015-2018) hesaplanan değerler (Tablo 4.1) 'de verilen farklı yöntemlerden hesaplanmıştır. Lineer regresyon denklemi kullanılarak hesaplanan değerler EPM denklemi ile analiz edilmiştir.

$$Y = mX + c \quad (4.13)$$

burada Y, Penman-Monteith Denklemi tarafından hesaplanan ET'yi temsil eder ve X, yukarıda belirtilen sekiz yöntemden tahmin edilen ET'dir ve m ve c, sırasıyla regresyon denkleminin eğim ve kesişimini temsil eden sabitlerdir.

Model verilerinin kullanılabilir olması için 2015-2018 yılları model ve istasyon verileri karşılaştırılması yapılmıştır (Şekil 4.5). Düzeltilmiş model verileri kullanılarak istasyon verileri ile yapılan buharlaşma hesabı karşılaştırmasında (2015-2018) iki grafiğin birbirine yakın olduğu görülmüştür. Bu da model verilerinin kullanılabilirliğinin göstergesidir. Karşılaştırmaya ek olarak model verisinin kullanılabilirliğini kanıtlamak için RMSE hata değeri hesabı yapılmıştır.

Tablo 4.6. İstasyon ve model verileri kullanılarak Penman Monteith ile hesaplanan hata değerleri (2015-2018)

Ay	$E_{PM}(\text{İstasyon})$	$E_{PM}(\text{Model})$	(%) Hata
Ocak	27.86	34.57	24.08
Şubat	32.70	44.68	36.64
Mart	59.96	75.23	25.47
Nisan	74.58	93.26	25.05
Mayıs	102.72	134.74	31.17
Haziran	121.04	141.92	17.25
Temmuz	129.04	132.37	2.58
Ağustos	135.83	116.62	-14.14
Eylül	99.05	93.84	-5.26
Ekim	99.44	98.84	-0.60
Kasım	57.48	76.75	33.52
Aralık	46.03	65.11	41.45

$E_{PM}(\text{İstasyon})$ = İstasyon verileri ile hesaplanan Penman-Monteith (mm ay^{-1}), $E_{PM}(\text{Model})$ = Model verileri ile hesaplanan Penman-Monteith (mm ay^{-1})

Hesaplanan hata değerlerinin yüzdelik olarak az değerler alması, model ve istasyon verileri ile Penman-Monteith yöntemi kullanılarak yapılan buharlaşma tahminlerinin güvenilir sonuçların alındığını göstermektedir. Bu karşılaştırma da Penman-Monteith yönteminin seçilmesi daha önce de bahsedildiği üzere Penman-Monteith yönteminin standart yöntem olarak seçilmesinden kaynaklıdır. Bu karşılaştırma sonucunda model verilerinin kullanılabilirliği sağlanmıştır. Bunun sonucu olarak gelecek için buharlaşma tahmininde kullanılacak olan model verilerinin gelecek (2045-2055 ve 2085-2095) tahmini yapılırken güvenilir sonuçlar alacağımızı doğrulamıştır.

Model verileri kullanılarak Penman-Monteith ile hesaplanan değerlerin istasyon verileri kullanılarak hesaplanan Penman-Monteith değerlerine göre lineer regresyon hesabı yapılarak karşılaştırılmaları da yapılmıştır (Şekil 4.6).

Tablo 4.7. Model verileri ile hesaplanan 2045-2055 yılları toplam buharlaşmaların hata değerleri

Ay	E_{PM}	E_{HG}	(%) Hata	E_{HM}	(%) Hata	E_{JH}	(%) Hata	E_{PT}	(%) Hata
Ocak	35.55	27.60	-22.36	32.21	-9.40	27.30	-23.21	43.61	22.68
Şubat	45.45	42.93	-5.54	41.35	-9.02	41.78	-8.09	53.65	18.05
Mart	73.98	71.03	-3.99	66.98	-9.46	80.36	8.62	81.48	10.14
Nisan	94.84	101.46	6.98	99.09	4.48	118.33	24.77	100.69	6.16
Mayıs	135.02	128.02	-5.18	146.01	8.14	146.24	8.31	119.15	-11.76
Haziran	142.48	151.91	6.62	198.58	39.37	209.52	47.05	132.49	-7.01
Temmuz	137.50	148.21	7.79	221.22	60.89	215.87	57.00	133.57	-2.85
Ağustos	137.72	115.02	-16.48	192.22	39.57	188.61	36.95	139.04	0.96
Eylül	100.44	93.59	-6.82	142.86	42.23	133.26	32.68	109.94	9.46
Ekim	102.58	56.94	-44.49	89.20	-13.04	81.85	-20.21	101.21	-1.34
Kasım	66.51	31.83	-52.14	46.86	-29.54	43.05	-35.28	67.44	1.40
Aralık	57.81	24.52	-57.59	34.77	-39.85	33.23	-42.53	58.46	1.13

Ay	E_{PM}	E_T	(%) Hata	E_{THW}	(%) Hata	E_{RK}	(%) Hata	E_{DJH}	(%) Hata
Ocak	35.55	15.10	-57.52	12.98	-63.49	54.56	53.47	27.35	-23.05
Şubat	45.45	26.07	-42.65	22.74	-49.97	63.27	39.21	37.32	-17.89
Mart	73.98	58.34	-21.15	49.62	-32.93	78.11	5.58	68.18	-7.84
Nisan	94.84	85.53	-9.81	99.21	4.61	95.12	0.30	95.58	0.78
Mayıs	135.02	100.27	-25.74	96.41	-28.60	95.61	-29.19	114.37	-15.30
Haziran	142.48	172.90	21.35	139.49	-2.10	134.20	-5.81	145.84	2.36
Temmuz	137.50	176.87	28.63	135.45	-1.49	140.70	2.33	140.71	2.33
Ağustos	137.72	142.86	3.73	126.28	-8.31	127.40	-7.49	121.98	-11.43
Eylül	100.44	105.90	5.44	76.09	-24.24	124.37	23.83	82.80	-17.57
Ekim	102.58	57.77	-43.68	42.31	-58.75	80.57	-21.46	56.50	-44.92
Kasım	66.51	31.19	-53.10	55.09	-17.17	66.38	-0.20	37.03	-44.32
Aralık	57.81	21.83	-62.24	22.93	-60.34	52.97	-8.37	31.92	-44.79

E_{PM} = Penman-Monteith ($mm\ ay^{-1}$), E_{HG} = Hargreaves ($mm\ ay^{-1}$), E_{HM} = Hamon($mm\ ay^{-1}$), E_{JH} = Jensen and Haise($mm\ ay^{-1}$), E_{PT} = Priestly and Taylor ($mm\ ay^{-1}$), E_T = Turc ($mm\ ay^{-1}$), E_{RK} = Romanenko ($mm\ ay^{-1}$), E_{THW} = Thornthwaite ($mm\ ay^{-1}$), E_{DJH} = Düzeltmiş Jensen and Haise($mm\ gün^{-1}$).

Priestley-Taylor, Düzeltmiş Jensen-Haise ve Romanenko yöntemlerinin standart olarak belirlenen Penman-Monteith yöntemine göre hata değerlerinin daha az olduğu görülmektedir (Tablo4.7). Hata değerlerinin yüzdelik olarak az değerler almasının sebebi hesaplanan yöntemlerin yakın gelecek dönemi (2045-2055) için PM yöntemiyle birbirlerine yakın buharlaşma tahminleri yapmasından kaynaklıdır. Bu da gelecek dönem için yapılan buharlaşma tahminlerinde bu üç yöntem kullanılarak yapılan tahminlerin güvenilir sonuçlar alındığını göstermektedir.

Yöntemler kullanılarak hesaplanan buharlaşmalar lineer regresyon analizi kullanılarak analiz edilmiştir, buna göre yöntemlerin çalışma bölgesinde kullanılabilirliği test edilmiştir.

Yöntemlerin yakın gelecek dönemi (2045-2055) için standart alınan Penman-Monteith yöntemine göre buharlaşma tahmini karşılaştırmalarının en yakın değerleri, Jensen-Haise yöntemine günışığı saati ve maksimum sıcaklık ilavesi yapılan Düzeltilmiş Jensen-Haise, Priestley-Taylor ve Romanenko yöntemlerinde olduğu görülmektedir. Yakın gelecek dönemi (2045-2055) için Analiz sonucunda belirleme katsayısı (determinasyon katsayısı) R^2 değeri söz konusu olduğunda Priestley-Taylor $R^2=0.99$ Düzeltilmiş Jensen-Haise $R^2=0.90$, Romanenko $R^2=0.99$ ile en yüksek değerlere sahipken, Turc $R^2=0.50$ ve Thornthwaite $R^2=0.68$ ile en düşük değerlere sahiptir. R^2 değerleri bire yakın değerler alması bu yöntemlerle bulunan buharlaşma sonuçlarının güvenilir olduğunu gösterir. Yapılan analiz sonucunda Jensen-Haise yöntemine günışığı saati ve maksimum sıcaklık ilavesi yapılan Düzeltilmiş Jensen-Haise yönteminin orijinal Jensen-Haise yöntemine göre çok daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu doğrultuda da Jensen-Haise yönteminde yapılan değişikliğinin buharlaşma tahmini yaparken daha tutarlı sonuçlar verdiğini doğrular niteliktedir.

Priestley-Taylor yönteminin iyi sonuçlar çıkarmasının nedeni bu yöntemin yüzey alanlarının genel olarak nemli koşullar için, Penman tarafından sunulan kombinasyon denkleminin basit versiyonu olduğundan, Penman-Monteith yöntemiyle yapılan buharlaşma sonucuna yakın değerler çıkarmıştır. Bu sebeple determinasyon katsayısı bire çok yakın değerler vermiştir.

Romanenko yöntemi de yapılan karşılaştırma sonucunda Penman-Monteith yöntemine yakın değerler veren diğer bir yöntemdir. Romanenko yönteminin Penman-Monteith'e bu kadar yakın değerler vermesinin sebebi bu yöntemin nem tabanlı yöntem olmasından kaynaklı olarak ve yapılan buharlaşma tahminin açık su yüzeyinde yapılmış olmasından kaynaklıdır. Sonuç olarak Düzeltilmiş Jensen-Haise, Priestley-Taylor ve Romanenko yöntemlerinin gelecek dönemler için yapılan buharlaşma tahmininin kullanılabilirliği ve bu yöntemlerle çıkan sonuçların diğer yöntemlere göre daha güvenilir sonuçlar verdiğini gösterir.

Uzak gelecek dönemi (2085-2095) için de buharlaşma tahmini yapılmıştır.

Tablo 4.8. Model verileri ile hesaplanan 2085-2095 yılları toplam buharlaşmaların hata değerleri

Ay	E_{PM}	E_{HG}	(%) Hata	E_{HM}	(%) Hata	E_{JH}	(%) Hata	E_{PT}	(%) Hata
Ocak	38.11	30.48	-20.03	37.26	-2.25	29.64	-22.23	47.62	24.95
Şubat	50.70	48.42	-4.49	48.71	-3.93	47.34	-6.62	60.25	18.83
Mart	81.59	79.07	-3.09	76.77	-5.91	90.26	10.62	92.32	13.15
Nisan	107.00	114.78	7.27	118.76	10.98	136.67	27.73	114.78	7.27
Mayıs	153.09	137.18	-10.39	161.85	5.72	175.70	14.77	142.89	-6.66
Haziran	167.70	163.99	-2.21	225.84	34.67	219.82	31.09	152.64	-8.98
Temmuz	146.25	163.66	11.90	258.23	76.56	228.23	56.05	143.30	-2.02
Ağustos	143.50	126.01	-12.19	215.70	50.31	194.94	35.85	142.56	-0.66
Eylül	105.72	99.71	-5.68	176.69	67.12	148.21	40.19	116.98	10.65
Ekim	106.64	60.62	-43.15	99.58	-6.62	89.99	-15.62	110.60	3.71
Kasım	69.99	36.42	-47.97	55.97	-20.03	49.60	-29.14	76.31	9.02
Aralık	66.11	27.87	-57.85	41.65	-36.99	37.89	-42.69	65.75	-0.55

Ay	E_{PM}	E_T	(%) Hata	E_{THW}	(%) Hata	E_{RK}	(%) Hata	E_{DJH}	(%) Hata
Ocak	38.11	22.05	-42.15	18.04	-52.67	58.28	52.90	36.35	-4.62
Şubat	50.70	36.99	-27.05	28.92	-42.96	72.87	43.72	47.98	-5.36
Mart	81.59	73.86	-9.48	49.78	-38.99	87.38	7.10	78.64	-3.62
Nisan	107.00	108.44	1.34	113.69	6.24	111.92	4.59	109.50	2.34
Mayıs	153.09	131.65	-14.00	104.96	-31.44	109.12	-28.72	137.72	-10.04
Haziran	167.70	179.66	7.14	165.57	-1.26	140.79	-16.04	153.76	-8.31
Temmuz	146.25	197.21	34.84	169.33	15.78	161.77	10.61	147.49	0.85
Ağustos	143.50	158.43	10.40	151.57	5.62	148.25	3.31	126.98	-11.51
Eylül	105.72	127.48	20.58	110.98	4.97	153.02	44.73	93.94	-11.14
Ekim	106.64	69.40	-34.92	46.90	-56.02	92.73	-13.04	65.43	-38.64
Kasım	69.99	40.81	-41.69	63.95	-8.63	79.63	13.77	45.10	-35.56
Aralık	66.11	30.50	-53.87	31.03	-53.05	61.40	-7.13	40.75	-38.36

E_{PM} = Penman-Monteith ($mm\ ay^{-1}$), E_{HG} = Hargreaves ($mm\ ay^{-1}$), E_{HM} = Hamon ($mm\ ay^{-1}$), E_{JH} = Jensen and Haise ($mm\ ay^{-1}$), E_{PT} = Priestly and Taylor ($mm\ ay^{-1}$), E_T = Turc ($mm\ ay^{-1}$), E_{RK} = Romanenko ($mm\ ay^{-1}$), E_{THW} = Thornthwaite ($mm\ ay^{-1}$), E_{DJH} = Düzeltmiş Jensen and Haise ($mm\ gün^{-1}$).

Hargreaves, Jensen-Haise, Priestley-Taylor, Turc, Düzeltmiş Jensen-Haise ve Romanenko yöntemlerinin standart olarak belirlenen Penman-Monteith yöntemine göre hata değerlerinin daha az olduğu görülmektedir (Tablo 4.8). Hata değerlerinin yüzdelik olarak az değerler almasının sebebi hesaplanan yöntemlerin gelecek dönem (2085-2095) için birbirlerine yakın buharlaşma tahminleri yapmasından kaynaklıdır. Bu da gelecek dönem için yapılan buharlaşma tahminlerinin güvenilir sonuçların alındığını göstermektedir.

Yöntemler kullanılarak uzak gelecek dönemi için hesaplanan buharlaşmalar lineer regresyon analizi kullanılarak analiz edilmiştir(Şekil4.10).

Yöntemlerin uzak gelecek dönemi (2085-2095) için standart alınan Penman-Monteith yöntemine göre buharlaşma tahmini karşılaştırmalarının en yakın değerlerini Priestley-Taylor ve Düzeltilmiş Jensen-Haise yönteminde görülmektedir. Analiz sonucunda belirleme katsayısı (determinasyon katsayısı) R^2 değeri söz konusu olduğunda Priestley-Taylor $R^2=0.98$ Düzeltilmiş Jensen-Haise $R^2=0.96$, Romanenko $R^2=0.99$ en yüksek değerlere sahipken, Hamon $R^2=0.70$ ve Thornthwaite $R^2=0.67$ en düşük değerlere sahiptir. R^2 değerleri bire yakın değerler çıktığında bu yöntemlerle bulunan buharlaşma sonuçlarının güvenilir olduğunu gösterir.

Sonuç olarak gelecek için yapılan buharlaşma tahminlerinde en güvenilir sonuçları Priestley-Taylor, Düzeltilmiş Jensen-Haise ve Romanenko yöntemleri kullanılarak elde edilmiştir. Gelecek dönem tahminin için yapılan hesaplamalarda bu üç denklemin diğer denklemlere nazaran kullanılabilirliği görülmüştür.

Çalışmada yapılan diğer bir karşılaştırma da günümüz, yakın gelecek (2045-2055) ve uzak gelecek (2085-2095) olarak alınan dönemlerin standart olarak kabul edilen Penman-Monteith ile hesaplanan buharlaşma tahminlerinin zamana göre karşılaştırmalarını içerir (Tablo 4.9 ve Şekil4.11).

Tablo 4.9. 2015-2018, 2045-2055 ve 2085-2095 dönemi verileri kullanılarak Penman Monteith ile hesaplanan buharlaşma tahmini değerleri

Ay	$E_{PM(2015-2018)}$	$E_{PM(2045-2055)}$	$E_{PM(2085-2095)}$
Ocak	27.86	35.55	38.11
Şubat	32.70	45.45	50.70
Mart	59.96	73.98	81.59
Nisan	74.58	94.84	107.00
Mayıs	102.72	135.02	153.09
Haziran	121.04	142.48	167.70
Temmuz	129.04	137.50	146.25
Ağustos	135.83	137.72	143.50
Eylül	99.05	100.44	105.72
Ekim	99.44	102.58	106.64
Kasım	57.48	66.51	69.99
Aralık	46.03	57.81	66.11

$E_{PM(2015-2018)}$ =2015-2018 dönemi verileri ile hesaplanan Penman-Monteith ($mm\ ay^{-1}$), $E_{PM(2045-2055)}$ =2045-2055 dönemi verileri ile hesaplanan Penman-Monteith ($mm\ ay^{-1}$), $E_{PM(2085-2095)}$ =2085-2095 dönemi verileri ile hesaplanan Penman-Monteith ($mm\ ay^{-1}$)

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma kapsamında ülkemiz için sulama, içme suyu, enerji vb. faktörler bakımından önemli yeri olan Atatürk Baraj Gölü'nün buharlaşma tahmini yapılmıştır. Buharlaşma tahmini için FAO tarafından önerildiği üzere, yöntemlerin değerlendirilmesinde Penman-Monteith yöntemi standart olarak (R.G. Allen, L.S. Raes, D. Smith, M., 1998) alınmıştır.

Bu çalışmadaki sonuçlar sadece yerel olarak kalibre edilmiş sabitler içindir, çünkü orijinal sabitlerin sonuçları kayıt için oldukça yetersizdi. Farklı yöntemlerin Penman-Monteith ile karşılaştırılmasının sonucu, modellerin yerel olarak uygun şekilde kalibre edilmesi durumunda tahminlerin yeterli olduğunu göstermektedir. Farklı mevsimler için modeller ya buharlaşmayı fazla ya da az küçümsemişlerdir. Modellerdeki mevsimsel değişkenlik, bazı mevsimsel faktörlerin dikkate alınmamasının bir sonucudur. En iyi ilişkiler genel olarak Jensen-Haise yöntemine günışığı saati ve maksimum sıcaklık ilavesi yapılan Düzeltilmiş Jensen-Haise, Priestley-Taylor ve Romanenko yöntemleri ile çıkmıştır. En düşük determinasyon katsayısının Thorntwaite yönteminde görülmüştür.

Bu çalışmada kullanılan tek neme dayalı yöntem olan Romanenko yönteminin, aynı iklim koşulları için de tatmin edici bir sonuç verdiği görülmüştür. Romanenko tahminleriyle, Penman-Monteith'in tahminleriyle daha büyük bir korelasyon gösteriyor Bunun sebebi olarak Romanenko yönteminin neme dayalı bir yöntem olmasından kaynaklı olduğu görülmüştür. Denizler ve göller gibi büyük açık su kütleleri bulunan bölgelerde, Romanenko'nun sonucunun diğer yöntemlere göre nispeten daha az hata ile daha güvenilir olduğu sonucuna varıldı.

Türkiye dünyanın geçmişten günümüze, iklim değişikliğinden en fazla etkilenecek olan ülkeleri arasında yer almaktadır. Bundan sonra da iklim de meydana gelebilecek büyük değişikliklerden etkilenecek ve büyük sorunlar yaşayabilecek bir ülke konumundadır. Ülkemiz için yaşanacak olan sorunların önüne geçmeli ya da etkilerin en az seviyeye indirecek şekilde önlemler almalıyız.

Günümüzün en büyük sorunlarından biri olan iklim değişikliği genel olarak sıcaklığın, sıcaklığın artmasıyla beraber buharlaşmanın da artması yöndedir. Bunun doğrultusunda gelecek dönem için artan sıcaklıkları göz önünde bulundurarak gelecek dönemlerin buharlaşmasının hesaplanması ve gelecek dönemler için önlem almak adına şimdiden fikir sahibi olunması büyük önem taşımaktadır.

Çalışma kapsamında gelecek dönemler kapsamında, yakın dönem(2045-2055) ve uzak dönem(2085-2095) için kullanılan yöntemlerle buharlaşma tahminleri yapılmıştır.

2045-2055 ve 2085-2095 dönemleri için model verileriyle hesaplanan yıllık buharlaşma değerlerinin 2015-2018 arası dönem için elde edilen uzun yıllar ortalama yıllık toplam buharlaşma miktarına göre farkı gösterilmiştir(Şekil4.11). 2045-2055 ve 2085-2095 arası dönemde günümüz döneme göre buharlaşmanın artacağı bu şekilde açıkça ortaya konmuştur.

2045-2055 yılı model verileri ile hesaplanan buharlaşma miktarlarına bakıldığında günümüz dönemi olan 2015-2018 yılında hesaplanan buharlaşma miktarına göre artış oranı hesaplanmış, bunun doğrultusunda Atatürk Baraj Gölü'nden günümüz döneme göre yakın gelecek dönemde (2045-2055) buharlaşma %10 ile %15 arasında artmaktadır. Buharlaşmada oluşan artışa bağlı olarak baraj gölünün seviyesinde azalmaya neden olacağı öngörülmektedir.

2085-2095 yılı model verileri ile hesaplanan buharlaşma miktarlarına bakıldığında günümüz dönemi olan 2015-2018 yılında hesaplanan buharlaşma miktarına göre artış oranı hesaplanmış, bunun doğrultusunda Atatürk Baraj Gölü'nden günümüz döneme göre uzak gelecek dönemde (2085-2095) buharlaşma %20 ile %25 arasında artmaktadır. Buharlaşmada oluşan artışa bağlı olarak baraj gölünün seviyesinde azalmaya neden olacağı öngörülmektedir. Bu çıkarım doğrultusunda var olan suyumuzu kullanmasak bile yıllar içinde buharlaşmadan kaynaklanan kayıplar doğrultusunda yavaş yavaş kaybedeceğiz. Bu kaybın önüne geçmek veya kaybı en aza indirmek için çalışmalar yapılmalı ve yapılan çalışmalar desteklenmelidir.

Suya olan ihtiyaç kaçınılmaz bir gerçektir. Türkiye'deki su kaynaklarının buharlaşmadan kaynaklı kayıplarının bugün ve gelecek için bilinmesi yukarıda da vurgulandığı üzere büyük önemli taşımaktadır. İklim değişikliği ile artacak olan sıcaklığın dikkate alındığında bu kapsamda yapılan buharlaşma çalışmaları yaygınlaştırılmalıdır.

İklim değişikliğine sebep olan etmenler ve iklim değişikliğinin etkileri gün geçtikçe artmaktadır. Bu kapsamda ülkemiz için artan bu etkileri ve etmenleri göz önüne alan RCP4.5 VE RCP8.5 senaryoları çerçevesinde benzer çalışmaların yapılması ülkemizin gelecek durumunu öngörmek için önem arz etmektedir. Bu kapsamda çalışmalar yürütülmeli ve desteklenmelidir.

Çalışmada karşılaşılan buharlaşma ölçüm verilerinin eksikliği, yöntemlerle hesaplanan buharlaşma değerleri arasında farklılıklar görülmesi doğrultusunda ülkemiz için hangi yöntemin doğru sonuçlar verdiğinin net olarak bilinmemesine sebep olmuştur. Bu eksikliğin giderilmesi açısından arazilerde buharlaşma adına ölçümler yapılmalı ve kullanılan yöntemlerle karşılaştırılmalıdır. Bunun doğrultusunda ülkemize uygun buharlaşma hesaplama yöntemleri belirlenmeli ve geliştirilmelidir.

İklim değişikliğinden önemli doğrultuda etkilenecek ülkeler arasında bulunan ülkemizin iklim değişikliği ile ilgili çalışmalar yürütülmelidir. Bu kapsamda, suyun sürdürülebilir bir şekilde planlanması için su ile ilgili girdi ve kayıpların gelecek dönemde ne olacağının net olarak bilinmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda, iklim değişikliğinin su kaynaklarına etkisi ile ilgili çalışmalar özellikle ülkemizde önemli ölçüde eksik bulunan buharlaşma ile ilgili çalışmalar iklim değişikliği çerçevesinde ele alınmalı ve yürütülmelidir.



REFERANSLAR

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M., & J Fao. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. 300(9), D05109.
- Allen, R. G., Smith, M., Pereira, L. S., & Perrier, A. (1994). An Update for the Calculation of Reference Evaporation. *ICID Bull*, 35-92(b).
- Allen, R. G., Smith, M., Perrier, A., & Pereira, L. S. (1994). An Update for the Definition of Reference Evaporation. *ICID Bull*, 1-33(a).
- Allen, R. G. P., L. S. Raes, D. Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage*, Paper 56.
- Aydın M.-C., Çelik R., Yaylak M.-M., Küresel İklim Değişikliğinin Keban Barajı'na HidrolojikEtkisi, 4. *Su Yapıları Sempozyumu*, 439-448
- Bayazıt, M., (2013). Hidroloji,978-975-511-364-9, İstanbul, 36-48.
- Bell, V.A., N. Gedney, A.L. Kay, R.N. Smith, R.G. Jones, and R.J. Moore, (2011). Estimating Potential Evaporation from Vegetated Surfaces for Water Management Impact Assessments Using Climate Model Output. *J. Hydrometeor.*, 1127–1136.
- Chattopadhyay, N. & Hulme, M., (1996). Evaporation and potential evapotranspiration in India under conditions of recent and future climate change, *Agricultural and Forest Meteorology* 87 (1997), 55-73.
- De Bruin, H. (1978). A simple model for shallow lake evaporation. *Journal of Applied Meteorology*, 17(8), 1132-1134.
- De Bruin, H. (1982). Temperature and energy balance of a water reservoir determined from standard weather data of a land station. *Journal of Hydrology*, 59(3-4), 261-274.
- de Bruin, H. A. R., & Keijman, J. Q. (1979). The Priestley-Taylor evaporation model applied to a Large, Shallow Lake in the Netherlands. *Journal of Applied Meteorology*, 898-903.
- Demir, İ., Kılıç, G., Coşkun, M. (2008). PRECIS Bölgesel İklim Modeli ile Türkiye İçin İklimÖngörülleri: HadAMP3 SRES A2 Senaryosu, IV. *Atmosfer Bilimleri Sempozyumu, Bildiriler Kitabı*,365-373.

- Demir, Ö., (2013). RCP4.5 Senaryosuna göre Türkiye’de sıcaklık ve yağış projeksiyonları, *III İklim değişikliği Kongresi*, 63-71.
- Haith, D., & Shoenaker, L. (1987). Generalized watershed loading functions for stream flow nutrients. *Water Resources Bulletin*, 23(3), 471-478.
- Haith, D. A., & Shoenaker, L. L. (1987). Generalized Watershed Loading Functions for Stream Flow Nutrients 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 23(3), 471-478.
- Hargreaves, G. H. (1994). Defending and using reference evapotranspiration. *Journal of Irrigation and Drainage engineering*, 1132-1139.
- Hargreaves, G. H., & Samani, Z. A. (1985). Estimating potential evapotranspiration. *Journal of Irrigation Drainage Engineering*, 225-230.
- Helfer, F. Lemckert, C. Zhang, H. (2012). Impacts of climate change on temperature and evaporation from a large reservoir in Australia . *Journal of Hydrology*, 365-378
- IPCC, (2014). AR5 Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) 5. Değerlendirme Raporu, Meyer L, Glossary of Terms
- Jensen, M., & Haise, H. (1963a). Estimating evapotranspiration from solar radiation. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, 15-41.
- Jensen, M., & Haise, H. (1963b). Estimating evapotranspiration from solar radiation. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, 15-41.
- Jensen, M. E., Burman, R. D., & Allen, R. G. (1990). *Evapotranspiration and irrigation water requirements*.
- Keijman, J. (1974). The estimation of the energy balance of a lake from simple weather data. *Boundary-Layer Meteorology*, 7(3), 399-407.
- Kisi, Ö.,(2013). Comparison of different empirical methods for estimating daily reference evapotranspiration in Mediterranean climate, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, DOI:10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000664.
- Linsley, R. K. J., & Kohler, M. A., Paulhus, J. L. H. (1982). *Hydrology for engineers*. Newyork: McGraw-Hill.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (2019). Alındığı site. <https://www.mgm.gov.tr/>
- Monteith, J. (1965). Evaporation and enviro Biology, vol. 19. In: University Press, Cambridge.

- Monteith, J. L. (1981). Evaporation and surface temperature. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 1-27.
- Penman, H. (1963). Vegetation and Hydrology, Commonwealth Agric. Bureau. Farnham Royal.
- Penman, H. L. (1948). Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical Physical Sciences*, 193(1032), 120-145.
- Priestley, C. H. B., & Taylor, R. J. M. w. r. (1972). On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. *100*(2), 81-92.
- Priestly, C. H. B., & Taylor, R. J. (1972). On the Assessment of Surface Heat Flux and Evaporation Using Large-Scale Parameters. *Monthly Weather Review*, 81-92.
- Romanenko, V. A. (1961). Computation of the Autumn Soil Moisture Using a Universal Relationship for a Large Area. *Ukrainian Hydrometeorological Research Institute, Kiev*.
- Straskraba, M. (1980). The effects of physical variables on freshwater production: analyses based on models. *The functioning of freshwater ecosystems*, 13-84.
- Şaylan, L., Özgür, E., Semizoğlu, E., Çaylak, O., Özkoca, Y., Karayusufoğlu, S. ve Çaldağ, B., (2011). Evapotranspirasyonun farklı yöntemlerle hesaplanması ve karşılaştırılması, “5th Atmospheric Science Symposium”, Türkiye, 359-367.
- Şen, Ö.-L., (2013).Türkiye’de İklim Değişikliğinin Bütünsel Resmi, *III İklim değişikliği Kongresi*, 63-69.
- Şen, Ö.-L., Bozkurt D., Göktürk O.-M., Dündar B., ve Altürk B., (2017).Türkiye’de İklim Değişikliği ve Olası Etkileri. 3. *Taşkın Sempozyumu*.
- Thornthwaite, C. W. (1948). An Approach toward a Rational Classification of Climate. *Geographical Review*, 55-94.
- Thornthwaite, C. W. (1948). *An approach toward a rational classification of climate* (Vol. 66): LWW.
- Turc, L. (1961). Estimation of irrigation water requirements, potential evapotranspiration: a simple climatic formula evolved up to date. *Annals of Agronomy*, 13-49.

- Türkeş, M., Sümer, U. M. ve Çetiner, G. (2000). Küresel iklim değişikliği ve olasılıkları, *Çevre Bakanlığı, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve SözleşmesiSeminer Notları (13 Nisan 2000, İstanbul Sanayi Odası)*, 7-24,
- Valiantzas, J.D., (2013a). Simple ETo Forms of Penman's Equation without Wind and/or Humidity Data. I: Theoretical Development, *J. of Irrg. and Drain. Eng.*, 139(1): 1-8.
- WDC CLIMATE. (2019). Alındığı site.<https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cerasearch/>
- Xu, C.-Y., & Singh, V. P. (1997). Evaluation and generalization of 13 mass-transfer equations for determining free water evaporation. *HYDROLOGICAL PROCESSES*, 11(3), 311-323.
- Xu, C.-Y., & Singh, V. P. (1998). Dependence of evaporation on meteorological variables at different time-scales and intercomparison of estimation methods. *HYDROLOGICAL PROCESSES*, 429-442.
- Xu, C.-Y., & Singh, V. P. (2000). Evaluation and generalization of radiation-based methods for calculating evaporation. *HYDROLOGICAL PROCESSES*(14), 339-349.
- Xu, C.-Y., & Singh, V. P. (2001). Evaluation and generalization of temperature-based methods for calculating evaporation. *HYDROLOGICAL PROCESSES*, 15(2), 305-319.
- Xu, C.-Y., & Singh, V. P. (2002). Cross Comparison of Empirical Equations for Calculating Potential Evapotranspiration with Data from Switzerland. *Water Resources Management*, 197-219.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Merve ÖZKAN
Yabancı Dil : İngilizce
Doğum Yeri ve Yılı : Manisa/1995
Email Adresi : mrvozkan131@gmail.com

Eğitim :2017, Pamukkale Üniversitesi, İnşaat
Mühendisliği Bölümü

