



**GÖL YÜZEYİNDEN BUHARLAŞMA HESAPLAMA
YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ**

Mızgin ETDÖĞER AYIK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2023

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Mızgin ETDÖĞER AYİK

20/01/2023

GÖL YÜZEYİNDEN BUHARLAŞMA HESAPLAMA YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Mızgin ETDÖĞER AYIK

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2023

ÖZET

Dünyadaki hayatın kaynağı suyun varlığıdır. Mevcut içme, sulama ve kullanma suyu kaynaklarının varlığı ve devamlılığı tüm canlı yaşamı için oldukça önemlidir. Günümüzde barajlarda depolanan su hacmi belirli kayıplarla azalmaktadır. Su hacmindeki kayıplar baraj işletme çalışmalarını ve su kaynaklarının verimli bir şekilde değerlendirilmesini doğrudan etkilemektedir. Özellikle yaz mevsiminin kurak dönemlerinde kayıpların en büyük sebeplerinden biri buharlaşma olmaktadır. Serbest su yüzeyinden buharlaşma miktarı belirlenmesi için doğrudan ölçümlerin yanısıra ampirik formüller de mevcuttur. Doğrudan ölçüm yöntemlerinden buharlaşma tavaşı diğer adıyla evaporimetre yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Yaygın olarak kullanımı tercih edilen “A Sınıfı” buharlaşma tavaşı Türkiye’de de kullanılmaktadır. Fakat fiziksel sebepler nedeniyle, tavadan ölçülen buharlaşma miktarı, büyük bir su kütlesinden oluşan buharlaşma miktarına göre daha yüksek değerde ölçülmektedir. Bu sebeple “A Sınıfı” buharlaşma tavaşı ile yapılan ölçümler için düzeltme katsayısı kullanılmaktadır. Tava katsayısı yılın tüm ayları için sabit kabul edilmekte olup Türkiye için bu değer 0,70 olarak kullanılmaktadır. Serbest su yüzeyinden oluşacak buharlaşma miktarının hesabı için yaygın olarak kullanılan ampirik metot Penman formülüdür. Bu çalışma kapsamında hem Türkiye'nin farklı coğrafi konumlarında bulunan istasyonların meteorolojik gözlemleri değerlendirilmiş hem de serbest su yüzeyinden buharlaşma miktarları Penman yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Aynı rezervuarlar için aylık buharlaşma miktarları “A Sınıfı” buharlaşma tavaşı kullanılarak yapılan rasat sonuçları ile mukayese edilmiştir. Yapılan aylık karşılaştırmalı buharlaşma miktarlarının kapsamlı değerlendirmeleri, ölçüm düzeltme faktörü olarak sabit tava katsayısı kullanımının yeniden gözden geçirilmesi gerektiği göstermiştir. Bu tez kapsamında Türkiye’de farklı bölgelerde yer alan baraj göllerinde Nisan-Ekim ayları arasında yapılan araştırma sonuçlarında 0,50-1,40 aralığında tava katsayıları hesaplanmış olup, rezervuarın iklimsel, mevsimsel, meteorolojik özel durumları ve enlem derecesine bağlı olarak farklı tava katsayısı kullanılması gerektiğini göstermektedir.

Bilim Kodu : 91106

Anahtar Kelimeler : Buharlaşma, Penman yöntemi, A Sınıfı buharlaşma tavaşı, tava Katsayısı

Sayfa Adedi : 85

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Önder KOÇYİĞİT

COMPARATIVE ANALYSIS OF CALCULATION METHODS OF EVAPORATION FROM LAKE SURFACE

(M. Sc. Thesis)

Mızgin ETDÖĞER AYİK

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2023

ABSTRACT

The source of life on the Earth is presence of water. The existence and continuity of drinking, irrigation and municipal water sources are very important for all living creatures. Nowadays, the volume of water stored in dams decreases with certain losses. Losses in water volume directly affect the dam operation and affect the efficient use of water resources. Evaporation is one of the most significant losses especially in the dry season of summer. In addition to direct measurement methods, empirical formulas are also available for determining the amount of evaporation from free water surface. Evaporation pan, which is one of the direct measurement devices, is widely used by many countries and the "U.S. Weather Bureau Class A" evaporation pan is preferred for observations in Türkiye. However, the evaporation amount observed from the pan is higher than the lake or reservoir evaporation due to the physical properties. For this reason, the measurements taken by the "Class A" evaporation pan should be corrected by a coefficient. The pan coefficient is considered constant during all months of the year and the value is used as 0.70 in Türkiye. A widely used empirical method for estimation of daily and monthly evaporation from the free water surface is the Penman formula since it comprises many meteorological factors. Since it comprises many meteorological factors it is widely used in the estimation of daily and monthly evaporation amounts from the water surface. Within the scope of this study, evaporation observations using the "Class A" evaporation pan located in various geographical regions of Türkiye and the estimated evaporation for the same sites by the Penman method were compared. In comparisons, monthly average values were taken into account. Comprehensive evaluations of monthly comparative evaporation resulted that fixed pan correction factor during whole seasons currently applied should be revised. Pan coefficients in the range of 0.50-1.40 were calculated in the results of the research conducted between the period of April and October in dam lakes located in different regions of Türkiye show that diverse pan coefficients should be used depending on the climatic, seasonal, meteorological special environment and latitude of the reservoir.

Science Code : 91106

Key Words : Evaporation, Penman method, Class A Pan, pan coefficient

Page Number : 85

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Önder KOÇYİĞİT

TEŞEKKÜR

Çalışma konumu belirlememe yardımcı olan, her daim desteğini gösteren, iletişime her zaman açık olan hem ders hem tez aşamasında eğitimci yönüyle yolumu aydınlatan, mütevazı ve kibar kişiliğiyle örnek aldığım danışman hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi Önder KOÇYİĞİT'e sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım. Çalışma verilerime destek sağlayan, bilgi ve tecrübelerini içtenlikle aktaran Süleyman TOPÇU ve Ziyaattin DURMAZ'a çok teşekkür ederim. Çalışmamın zor süreçlerinde beni motive ederek cesaretlendiren, ilerlememe yardımcı olan arkadaşlarım Ruken Zilan ARSLAN ve Kerem KAYA'ya teşekkürü borç bilirim. Son olarak hedeflerim konusunda beni her zaman destekleyen, sabır ve ilgi gösteren, sevgi dolu ailem ve eşime sonsuz teşekkürler.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
HARİTALARIN LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	5
3. ÇALIŞMA ALANLARI.....	11
4. METODOLOJİ.....	29
4.1. Buharlaştırmanın Ölçülmesi (“A Sınıfı” Buharlaştırma Tavası).....	29
4.2. Penman Yöntemi.....	32
4.2.1. Penman yöntemi ile buharlaştırma hesaplama akış şeması.....	38
4.3. Tava Katsayısının Belirlenmesi	39
5. BULGULAR.....	41
5.1. Tava Katsayıları	42
5.1.1. Amasya DMİ.....	42
5.1.2. Ankara DMİ.....	45
5.1.3. Bursa DMİ.....	47
5.1.4. Denizli DMİ.....	49
5.1.5. Edirne DMİ.....	51

Sayfa

5.1.6. Elazığ DMİ.....	54
5.1.7. İzmir DMİ.....	56
5.1.8. Karaman DMİ.....	58
5.1.9. Kayseri DMİ.....	60
5.1.10. Mardin DMİ.....	63
5.1.11. Trabzon DMİ.....	65
5.2. Penman Yöntemi Üzerine Hassasiyet Analizi	70
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	75
KAYNAKLAR.....	79
ÖZGEÇMİŞ.....	85

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Çalışma Alanlarına Ait İstasyon Bilgileri.....	14
Çizelge 3.2. Amasya ili uzun yıllar meteorolojik istatistikleri	16
Çizelge 3.3. Ankara ili uzun yıllar meteorolojik istatistikleri.....	17
Çizelge 3.4. Bursa ili uzun yıllar meteorolojik istatistikleri	18
Çizelge 3.5. Denizli ili uzun yıllar meteorolojik istatistikleri.....	20
Çizelge 3.6. Edirne ili uzun yıllar meteorolojik istatistikleri.....	21
Çizelge 3.7. Elazığ ili uzun yıllar meteorolojik istatistikleri	22
Çizelge 3.8. İzmir ili uzun yıllar meteorolojik istatistikleri.....	24
Çizelge 3.9. Karaman ili uzun yıllar meteorolojik istatistikleri.....	25
Çizelge 3.10. Kayseri ili uzun yıllar meteorolojik istatistikleri	26
Çizelge 3.11. Mardin ili uzun yıllar meteorolojik istatistikleri.....	27
Çizelge 3.12. Trabzon ili uzun yıllar meteorolojik istatistikleri	28
Çizelge 4.1. Yüzey yansıtma katsayısı (Albedo)	35
Çizelge 4.2. Atmosferin üst limitinde aylar ve enlemlere bağlı kısa dalga radyasyonunun Angot değerleri ($R_A - g \cdot \text{cal/cm}^2/\text{gün}$).....	36
Çizelge 4.3. Enlem ve aylara göre mümkün günışığı saatleri (D-saat) (Criddle, 1958)..	36
Çizelge 4.4. Farklı sıcaklıklar için mm Hg (1 mm·Hg=1.33 mb) cinsinden doygun buhar basıncı.....	37
Çizelge 5.1. Amasya DMİ-1984 yılı için Penman yöntemi ile hesaplanan buharlaşma miktarları	42
Çizelge 5.2. Edirne DMİ-1994-2004 yılları arası meteorolojik veriler tablosu.....	53
Çizelge 5.3. İzmir DMİ-1994-2004 yılları arası meteorolojik veriler tablosu.....	53
Çizelge 5.4. Elazığ DMİ-1970-1980 yılları arası meteorolojik veriler tablosu	62
Çizelge 5.5. Kayseri DMİ-1984-1994 yılları arası meteorolojik veriler tablosu.....	62

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 4.1. A Sınıfı buharlaşma tavaşı (MGM, 2021)	31
Şekil 4.2. Doygun buhar basıncı eğrisinin t sıcaklığındaki eğimi	35
Şekil 4.3. Penman yönteminin MS. Excel programı içerisinde uygulama akış şeması ..	38
Şekil 5.1. Amasya DMİ-1984-1994 yılları arası ölçülen ve hesaplanan ortalama buharlaşma miktarları	43
Şekil 5.2. Amasya DMİ-1984-1994 yılları arası hesaplanan aylık ortalama tava katsayıları	44
Şekil 5.3. Ankara DMİ 1977-1987 yılları arası ölçülen ve hesaplanan ortalama buharlaşma miktarları	45
Şekil 5.4. Ankara DMİ 1977-1987 yılları arası hesaplanan ortalama tava katsayıları ...	46
Şekil 5.5. Bursa DMİ 1971-1981 yılları arası ölçülen ve hesaplanan ortalama buharlaşma miktarları	47
Şekil 5.6. Bursa DMİ 1971-1981 yılları arası hesaplanan ortalama tava katsayıları.....	48
Şekil 5.7. Denizli DMİ 1976-1986 yılları arası ölçülen ve hesaplanan ortalama buharlaşma miktarları	49
Şekil 5.8. Denizli DMİ 1976-1986 yılları arası hesaplanan ortalama tava katsayıları ...	50
Şekil 5.9. Edirne DMİ 1994-2004 yılları arası ölçülen ve hesaplanan ortalama buharlaşma miktarları	51
Şekil 5.10. Edirne DMİ 1994-2004 yılları arası hesaplanan ortalama tava katsayıları ..	52
Şekil 5.11. Elazığ DMİ 1970-1980 yılları arası ölçülen ve hesaplanan ortalama buharlaşma miktarları	54
Şekil 5.12. Elazığ DMİ 1970-1980 yılları arası hesaplanan ortalama tava katsayıları...	55
Şekil 5.13. İzmir DMİ 1994-2004 yılları arası ölçülen ve hesaplanan ortalama buharlaşma miktarları	56
Şekil 5.14. İzmir DMİ-1994-2004 yılları arası hesaplanan ortalama tava katsayıları	57
Şekil 5.15. Karaman DMİ 1991-2001 yılları arası ölçülen ve hesaplanan ortalama buharlaşma miktarları	58
Şekil 5.16. Karaman DMİ 1991-2001 yılları arası hesaplanan ortalama tava katsayıları	59
Şekil 5.17. Kayseri DMİ 1984-1994 yılları arası ölçülen ve hesaplanan ortalama buharlaşma miktarları	60
Şekil 5.18. Kayseri DMİ-1984-1994 yılları arası hesaplanan ortalama tava katsayıları	61
Şekil 5.19. Mardin DMİ 1990-2000 yılları arası ölçülen ve hesaplanan ortalama buharlaşma miktarları	63

Şekil	Sayfa
Şekil 5.20. Mardin DMİ-1990-2000 yılları arası hesaplanan ortalama tava katsayıları.	64
Şekil 5.21. Trabzon DMİ 1994-2004 yılları arası ölçülen ve hesaplanan ortalama buharlaşma miktarları	65
Şekil 5.22. Trabzon DMİ-1994-2004 yılları arası hesaplanan ortalama tava katsayıları	66
Şekil 5.23. Sıcaklık (a), nispi nem (b), rüzgar (c) ve güneşlenme müddeti (d) verilerinin %10 artış ve azalışı için aylık ortalama buharlaşma farkı (%) ...	71
Şekil 5.24. Sıcaklık (a), nispi nem (b), rüzgar (c) ve güneşlenme müddeti (d) verilerinin %10 - %25 - %50 artış ve azalışı için aylık ortalama buharlaşma farkı (%).....	72
Şekil 5.25. Sıcaklık (a), nispi nem (b), rüzgar (c) ve güneşlenme müddeti (d) verilerinin standart sapma oranında artış ve azalışı için aylık ortalama buharlaşma farkı (%).....	73

HARİTALARIN LİSTESİ

Harita	Sayfa
Harita 3.1. Türkiye 2021 yılı ortalama sıcaklık haritası	11
Harita 3.2. 2021 Yılı Maksimum Sıcaklıklar	12
Harita 3.3. 2021 Yılı Minimum Sıcaklıklar	12
Harita 3.4. 2021 Yılı (Mayıs-Ekim) Açık Yüzey Buharlaşma (A sınıfı Buharlaşma Tavası) Haritası	13
Harita 3.5. Çalışma Alanlarının Türkiye'deki konumları	14
Harita 4.1. 2021 Yılı Açık Yüzey Buharlaşma Rasadı Yapan İstasyonlar	31

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
e_a	Havanın t °C’de gerçek buhar basıncı (mm·Hg)
E_a	Buharın kütle transferinde bulunan buharlaşma (mm/gün)
E_{PENMAN}	Penman yöntemi ile hesaplanan buharlaşma miktarı (mm/gün)
e_s	Havanın t °C’de doymuş buhar basıncı (mm·Hg)
E_{TAVA}	"A Sınıfı" buharlaşma tavaşı ile ölçülen buharlaşma miktarı (mm/ay)
g	gram
mb	Milibar
mm	Milimetre
$mm-Hg$	Milimetre-civa
n/D	Gerçek günışığı saatlerinin muhtemel günışığı saatlerine oranı
Q_n	Serbest su yüzeyinde kalan net radyasyon miktarı (g·kal/cm ² /gün)
R	Korelasyon katsayısı(-)
R_A	Atmosferin üst (dış) limitine ulaşan güneş radyasyonunun Angot değeri (g·kal/cm ² /gün)
R_B	Dünyanın net uzun dalga radyasyonu (g·kal/cm ² /gün)
R_C	Güneşten ve gökten gelen ve yeryüzeyinde ölçülen gerçek kısa dalga radyasyonu (g·kal/cm ² /gün)
R_I	Gözlünen net enerji miktarı (g·kal/cm ² /gün)
s	Saniye
T	Sıcaklık (t °C)
T_A	Mutlak yer sıcaklığı ($K=t$ °C + 273)
U_2	2 m yükseklikte ölçülen rüzgâr hızı (m/s)
σ	Lummer ve Pringsheim sabiti (g·kal/cm ² /gün)
Δ	Doymuş buhar basıncı eğrisinin t sıcaklığındaki eğimi (mb/°C)
γ	Psikrometre sabiti (0,66 mb/ °C)

Kısaltmalar**DMİ****DSİ****YSA****WMO****Açıklamalar**

Devlet Meteroloji İstasyonu

Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü

Yapay Sinir Ağları

World Meteorological Organization

1. GİRİŞ

Buharlaşıma, herhangi bir sıcaklıkta yüzeyde olan sıvı moleküllerinden kinetik enerjisi yüksek olan taneciklerin, tanecikler arası çekim kuvvetini yenerek sıvı halden gaz hale geçebilme olayına verilen isimdir. Doğada suyun hidrolojik çevriminin önemli bir unsurunu teşkil eden buharlaşma, Uluslararası Hidroloji Sözlüğü'ne (WMO, 2012) göre suyun kaynama noktası altındaki sıcaklıklarda sıvı halden gaz haline geçişi olarak tanımlanmaktadır. Yeryüzünde su bulunan her yüzeyden (denizler, göller, akarsular, nemli topraklar, karla örtülü veya buzla kaplı yüzeyler, ormanlar, bitki örtüsüne sahip araziler vb.) devamlı buharlaşma meydana gelmektedir. Su yüzeyinden su buharına dönüşme ile meydana gelen kayıplara buharlaşma (evaporasyon), bitkilerden meydana gelen su kaybına terleme (transpirasyon), bitkilerden ve toprak ile birlikte su yüzeyinden meydana gelen su kaybına ise evapotranspirasyon adı verilir. Yapılan çalışmalara göre atmosferdeki su buharının yaklaşık %90'ı buharlaşmadan, kalan %10'u ise bitkilerin terlemesinden (transpirasyon) kaynaklanmaktadır (USGS, 2016).

Sınırlı olan su kaynaklarının önemi her geçen gün artmaktadır. Bu sebeple var olan su kaynaklarının doğru şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir. Günümüzde içme, sulama, enerji veya kullanma suyu amaçlı tasarlanan barajların en verimli şekilde kullanılabilmesi için işletme çalışmalarına ayrıca önem verilmektedir. İşletme çalışmalarının en önemli aşamalarından bütçe dengesi yapılırken su hacminden kayıplar düşülmektedir. Özellikle kurak bölgelerde yer alan rezervuarlardaki kayıpların en büyük sebeplerinden birisi serbest su yüzünden oluşan buharlaşma miktarıdır. Buharlaşma miktarı yapılan gözlemlere göre kurak ve yarı kurak bölgelerde yaz aylarında (Temmuz-Ağustos) 3000 mm'ye kadar çıkmaktadır (Roberts, 1957; Beadle ve Cruse, 1957). Bu değer buharlaşma ile rezervuarda çok büyük su kayıplarının olabileceğini açıkça göstermektedir. Bu sebeple işletme çalışmalarının doğru ve verimli bir şekilde yapılabilmesi için buharlaşma ile baraj göllerinde (rezervuarlarda) biriken suyun hangi oranda buharlaşma yoluyla atmosfere geri döndüğünün belirlenmesi önem taşımaktadır.

Su yüzeyinden buharlaşma miktarının hesabı, olayı etkileyen faktörlerin çokluğu nedeni ile oldukça güçtür. Rezervuarlarda doğası gereği buharlaşan su miktarının doğrudan doğruya ölçümü mümkün olmamaktadır (WMO, 2008). Evaporimetre adı verilen aletler ile doğrudan buharlaşma ölçümü yapılabilmektedir. Evaporimetreler, atmometreler ve buharlaşma

tavaları olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Atmometrelerin küçük ölçekli çalışmalar için uygun oldukları, su kaynakları çalışmalarında tercih edilmemesi önerilmektedir (WMO, 2003). Serbest su yüzeyinden buharlaşma miktarı belirlenmesi amacıyla doğrudan ölçümler buharlaşma tavaları ile yapılabilmektedir. Ayrıca su bütçesi metodu, enerji bütçesi metodu, kütle transfer metodu, birleştirilmiş metotlar ve ampirik formüller yoluyla da buharlaşma miktarı hesaplanabilmektedir.

Doğrudan ölçüm yöntemlerinden buharlaşma tavaası yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Dünyanın diğer bölgelerinde yaygın olarak kullanımı tercih edilen “A Sınıfı” buharlaşma tavaası Türkiye’de de kullanılmaktadır.

Buharlaşma miktarının tespiti amacıyla geliştirilmiş ve yaygın olarak kullanılan ampirik metotlardan birisi Penman formülüdür. Su yüzeyinden günlük ve aylık buharlaşma miktarlarının tahmininde bu formülün yaygın olarak kullanılma sebebi, hidrolojinin temel denklemlerinden enerji dengesi ve kütle transferi yöntemlerinin yer aldığı fiziksel süreçlerin aynı denklem içerisinde birlikte kullanımıdır. Bu sayede Penman birçok meteorolojik faktörü denklemine dahil etmiştir.

“A Sınıfı” buharlaşma tavaası ile doğrudan ölçülebilen buharlaşma miktarları, fiziksel süreçlerin doğası gereği büyük bir su kütleinde (hazne, göl, baraj vb.) oluşan buharlaşma miktarına göre daha yüksek değerlerde ölçülmektedir. Bu sebeple “A Sınıfı” buharlaşma tavaası ile yapılan ölçümler için düzeltme katsayısı kullanılmaktadır. Dünya Meteoroloji Örgütü, tava katsayısının nemli mevsim ve iklimler için 0,80 veya üzerinde, kurak mevsim ve iklimler için ise 0,60 ve altında değerler alabileceğini ifade etmektedir. Ortalama tava katsayısının ise 0,70 olarak belirtmektedir (WMO, 2008). Tava katsayısı coğrafi konum ve iklimsel özelliklere göre değişmekle birlikte Türkiye’de yılın tüm ayları için sabit 0,70 değeri kabul edilerek kullanılmaktadır. Bu durum ülkemizde farklı iklimsel özelliklere sahip havzaların buharlaşma miktarlarının tespitinin yeniden değerlendirilmesi ihtiyacını oluşturmaktadır. Bu nedenle bu tez çalışması kapsamında Türkiye'nin farklı coğrafi konumlarında bulunan istasyonlardan “A Sınıfı” buharlaşma tavaası kullanılarak yapılan rasatlar ile aynı istasyonlara ait meteorolojik gözlem sonuçları değerlendirilerek serbest su yüzeyinden buharlaşma miktarları Penman yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Aynı meteoroloji istasyonları için Penman yöntemi ile hesaplanan aylık buharlaşma miktarları,

“A Sınıfı” buharlaşma tavaşı kullanılarak elde edilen rasat sonuçlarıyla mukayese edilerek Nisan-Ekim ayları arasındaki dönem için tava katsayıları hesaplanmıştır.

Çalışmanın amacı aylık karşılaştırmalı buharlaşma miktarlarının kapsamlı değerlendirmelerini yaparak Türkiye’nin farklı özelliklere sahip havzalarında yer alan istasyonlar için tava katsayılarının araştırılması ve buharlaşma miktarının en doğru şekilde hesaplanmasını sağlamaktır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde buharlaşma tahmini için yapılan akademik çalışmalar, kullanılan yöntemler ve özellikle Penman yönteminin kullanıldığı akademik araştırmalar verilmektedir. Ayrıca “A Sınıfı” buharlaşma tavaşı ile yapılan ölçümler için kullanılan düzeltme katsayısını konu alan ilgili literatür araştırması da bu bölümde yer almaktadır.

Aşağıda buharlaşma miktarının belirlenmesi için Penman Yönteminin kullanıldığı çalışmalara yer verilmiştir.

Winter ve Rosenberry (1995), A.B.D’de Minnesota’da yer alan Williams Gölü serbest su yüzeyinden meydana gelen buharlaşma miktarını tahmin etmek amacıyla enerji bütçe metoduna dayanan 11 farklı denklem kullanmışlardır. Yapılan kapsamlı çalışmada, göl içerisinde yüzen istasyon, göl kenarında konumlanan istasyon ve gölün 60 km kuzeyinde yer alan bir diğer istasyon verileri kullanılmıştır. Beş yıl süresince yapılan buharlaşma ölçümlerden elde edilen 22 aylık analiz sonuçları De Bruin ve Keijman (1979), Priestley ve Taylor (1972) ve Penman (1948) modellerinden elde edilen aylık buharlaşma miktarlarının enerji denklemi sonuçları ile uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır.

Wai ve arkadaşları (2004), Malezya’nın başkenti Kuala Lumpur’da ve Kota Bharu kenti 1998-1999 yılları iklim verilerini kullanarak buharlaşma ve evapotranspirasyon miktarlarını belirlemek amacıyla Christiansen ve Penman yöntemlerini kullanmışlardır. Çalışma sonucunda Penman modelinin, Christiansen modeline göre buharlaşma ve evapotranspirasyon miktarlarını belirlemede daha iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir. (Wai, Camerlengo, Wahab ve Harun, 2004)

Aydın ve Düzen (2011) Van Gölü yakın çevresinde gözlenen ve Penman Yöntemi ile hesaplanan buharlaşma değerleri arasındaki ilişkiyi incelenmişlerdir. Çalışma sonucunda, Van Gölü ve bölgedeki diğer göllerin su bütçesi çalışmaları için önemli olan buharlaşma miktarının tahmininde, Penman Yöntemi’nin güvenilir bir şekilde kullanılabileceği ifade edilmiştir.

Yıldız ve Gürer (2014) tarafından Kayseri, Sultansazlığı Sulak Alanı’nda yapılan bir çalışma ile serbest su yüzeyinden gerçekleşen buharlaşma miktarları Penman ve Yapay Sinir Ağları

(YSA) yöntemleri kullanarak belirlenmiştir. Ayrıca hesaplama sonuçları gerçek buharlaşma gözlemleri ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada Sultansazlığı Sulak Alanı'nda tuzlu ve yarı tuzlu su kütlesinden gerçekleşen buharlaşma miktarlarını da mukayese edilmiştir. Penman ve YSA yöntemleri için aylık ortalama hava sıcaklığı, göl sıcaklığı, rüzgâr hızı, kısa dalga boylu solar radyasyon, buharlaşma, güneşlenme süresi, bağıl nem gibi aylık ortalama veriler kullanılmıştır. Çalışma kapsamında Penman ve YSA Metotları ile serbest su yüzeyinden gerçekleşen buharlaşmanın tahmin edilebildiği ve iki yönteminde kullanılabileceği belirtilmiştir.

Sezer ve Öztekin (2016), Samsun Meteoroloji 10. Bölge Müdürlüğüne ait meteoroloji parkında 2012-2013 yıllarına ait günlük iklim parametreleri ve A sınıfı buharlaşma kabı rasatlarını birlikte değerlendirerek Penman ve Linacre modelleri ile buharlaşma miktarı tahmin çalışması gerçekleştirmiştir. Günlük buharlaşma miktarları ile elde edilen araştırma sonuçları Penman model performansının Linacre modeline göre daha iyi olduğunu göstermiştir.

Aydın (2019) Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan Siirt ili Meteoroloji İstasyonu'na ait iklim verileri ve "A Sınıfı" buharlaşma rasatlarını Penman (PM) ve Kohler-Nordenson-Fox (KNF) eşitliklerinden elde edilen buharlaşma miktarları ile karşılaştırmıştır. Çalışmanın performans değerlendirmesinde yarı kurak iklim koşulları dikkate alınmıştır. Buharlaşma kaplarının kullanılmadığı yarı kurak iklim koşullarında Penman (PM) metodunun kullanılabileceği, Kohler-Nordenson-Fox (KNF) metodunun daha yüksek tahminler üretmesi nedeniyle tercih edilmesinin doğru olmayacağı belirlenmiştir.

Bu bölümde tava katsayısının belirlenmesi için yapılan çalışmalara yer verilmiştir.

Lapworth (1965), Londra yakınlarında yer alan 16 ha alanlık rezervuarda 7 yıl boyunca buharlaşma çalışmalarını yürütmüştür. Lapworth su bütçesi yöntemini kullanarak hesapladığı buharlaşma miktarını Symon buharlaşma tavaşı ve A Sınıfı buharlaşma tavaşı ölçümleri ile karşılaştırmıştır. Yıllık periyotta Symon tavaşı için tava katsayısını ortalama 1,10 olarak hesaplarken, A Sınıfı buharlaşma tavaşı için 0,70 olarak hesaplamıştır. Ayrıca Lapworth yaptığı çalışmalarda tava katsayısının aylara göre 0,47 ile 1,18 değerleri arasında değerler aldığını belirtmiştir.

Crowe (1974), Oxfordshire bölgesinde yer alan Farmoor rezervuarında 1966 yılı Nisan-Ekim aylarında yürüttüğü çalışmalarında kütle transferi yöntemini kullanarak hesapladığı buharlaşma miktarını, A Sınıfı buharlaşma tavaası rasatlarıyla karşılaştırmıştır. Crowe, yedi aylık dönemde tava katsayılarının 0,94 ile 0,78 arasında değerler aldığını belirtmiştir.

Linacre (1994) tarafından gerçekleştirilen çalışma ile dünyanın dokuz farklı bölgesinden “A Sınıfı” buharlaşma tavaası ile elde edilen rasatlar ve Penman yöntemi ile elde edilen buharlaşma miktarları karşılaştırılmıştır. Çalışma kapsamında tava etrafındaki çıplak zemin, yüzeyin albedosu ve sıcaklık değişkenlerinin buharlaşmadaki etkileri incelenmiştir. Çalışma kapsamında ortalama tava katsayısı 0,77 hesaplanmış olup bu oranın bir çok meteorolojik faktöre bağlı olarak değişkenlik göstereceği de sonuçlar arasındadır.

Keskin ve arkadaşları (2005), Eğirdir Gölü kenarında kurulu olan GroWeather Meteoroloji istasyonundan Ekim 2000- Ekim 2001 arasında bir su yılı için elde edilen buharlaşma verilerini DSİ 18. Bölge Müdürlüğünün “A Sınıfı” tava ile rasatlanan buharlaşma verileri ile karşılaştırarak tava katsayısı belirlenmesi çalışması gerçekleştirmişlerdir. Çalışma kapsamında hesaplanan tava katsayılarının sabit olmayıp aydan aya değişken olduğu belirlenmiştir. Tava katsayısının aylık hatta günlük olarak belirlenmesiyle buharlaşma miktarının hesaplanması tavsiye edilmektedir. (Keskin, Şorman ve Terzi, 2005)

Jensen ve arkadaşları (2005), 2003 Mayıs ayı ile 2004 Eylül ayları arasında Berryessa Gölü kenarında yer alan buharlaşma tavaası rasatlarını ve Penman Monteith yöntemini kullanarak buharlaşma hesaplamışlardır. Buharlaşma tavaasının yeri birkaç kez değiştirilmiş ve tüm gün güneş ışığı alan bölgede tavadaki buharlaşmanın en fazla olduğu kaydedilmiştir. Tavanın sahadaki konumuna göre hesaplanan buharlaşma miktarı ile ölçülen buharlaşma miktarı arasında %20 fark oluştuğunu tespit etmişlerdir.

Khobragade ve arkadaşları (2019) tarafından yapılan çalışmada nemli tropikal muson iklimine sahip Hindistan’ın Chandigarh kentindeki Sukhna Gölü için enerji bütçesi yöntemi kullanılarak hesaplanan buharlaşma miktarı ile gerçek buharlaşma miktarları karşılaştırılarak yıllık, aylık ve mevsimlik tava katsayıları hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda tava katsayısının sabit olmayıp aylara yada mevsimlere göre önemli ölçüde değişiklik gösterdiği belirtilmiştir. Aylık tava katsayısı değişiminin 0,72-1,40 arasında olduğu, mevsimsel tava katsayısı değişiminin ise 0,81-1,16 arasında olduğu hesaplanmıştır. Çalışma içerisinde

Cuenca, Snyder, Modified Snyder, Pereira, Orang, FAO-56 Penman ve Wahed-Snyder modelleri de değerlendirilerek tava katsayısı hesaplanmıştır. Çalışma ile hesaplanan tava katsayılarının çalışma alanı için tutarlı sonuçlar gösterdiği gözlemlenirken, Hindistan'da çoğu kuruluş tarafından kabul edilen 0,7 tava katsayısının yüksek hata oranı içerdiği belirtilmiştir. (Khobragade, Semwal, Kumar ve Nainwal, 2019)

Abtew (2001) tarafından Güney Florida'da yer alan Okeechobee Gölü üzerinde, 1993-1997 yılları arasındaki meteorolojik verileri analiz edilerek yıllık ortalama buharlaşma miktarı hesaplanmıştır. Serbest su yüzeyinden günlük buharlaşma miktarının hesaplanması için geliştirilen yedi basit buharlaşma tahmini yönteminde güneş radyasyonu veya güneş radyasyonu- maksimum sıcaklık verilerine ihtiyaç duyulmuştur. Göl çevresindeki yedi ayrı meteoroloji istasyon verileri kullanılarak aylık tava katsayıları ve yıllık ortalama tava katsayıları hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda basit modellerle hesaplanan tava katsayıları ile meteorolojik veriler kullanılarak günlük buharlaşmanın hesaplanabileceği belirtilmiştir.

Yu, Si, Feng, Xi ve diğerleri (2017), Kuzeybatı Çin'in aşırı kurak bölgesinde yer alan Juyan Gölü üzerinden meydana gelen buharlaşma miktarını ve tava katsayısını belirlemek amacıyla çalışmalar yapmışlardır. Yapılan çalışmalarda Juyan Gölü'ne yakın meteoroloji istasyonunda yer alan iki tava (E601 ve $\phi 20$) üzerinden farklı periyotlarda buharlaşma ölçümleri alınmıştır. Penman modeli ile hesaplanan buharlaşma miktarları ve ölçülen buharlaşma miktarları karşılaştırıldığında iki tava için yakın tava katsayıları (0,61 ve 0,60) hesaplanmıştır. Yapılan çalışmalar ile toprağa gömülü olan E601 tavaşı üzerinde net radyasyon miktarının simüle edilmesiyle daha doğru sonuçlar elde edildiği görülmüştür. A Sınıfı buharlaşma tavaşı gibi yüzeyin bir miktar üzerinde yer alan $\phi 20$ tavaşı ve toprağa gömülü E601 tavaşı ile yapılan buharlaşma ölçümleri ve hesaplamalar dikkate alındığında göl üzerinden meydana gelen buharlaşmanın yıllık ortalamasının 0,79 olduğu ve rüzgar hızı ile logaritmik ilişkisi olduğu gözlemlenmiştir. Çalışma sonucunda net radyasyonun değiştirilmesiyle elde edilen Penman yönteminin, E601 tavaşı ölçümlerini simüle etmede iyi performans gösterdiği ve değişken tava katsayıları ile göl buharlaşmasının daha doğru tahmin edilebildiği sonucuna varılmıştır.

Mekoya (2020), Almanya'nın Tharandt bölgesinde yürüttüğü çalışmalarda buharlaşma ve tava katsayısının meteorolojik parametrelerle olan ilişkisini incelemiştir. 2004-2013 yılları meteorolojik verileri kullanılarak, potansiyel evapotranspirasyon Wendling (1991) ve

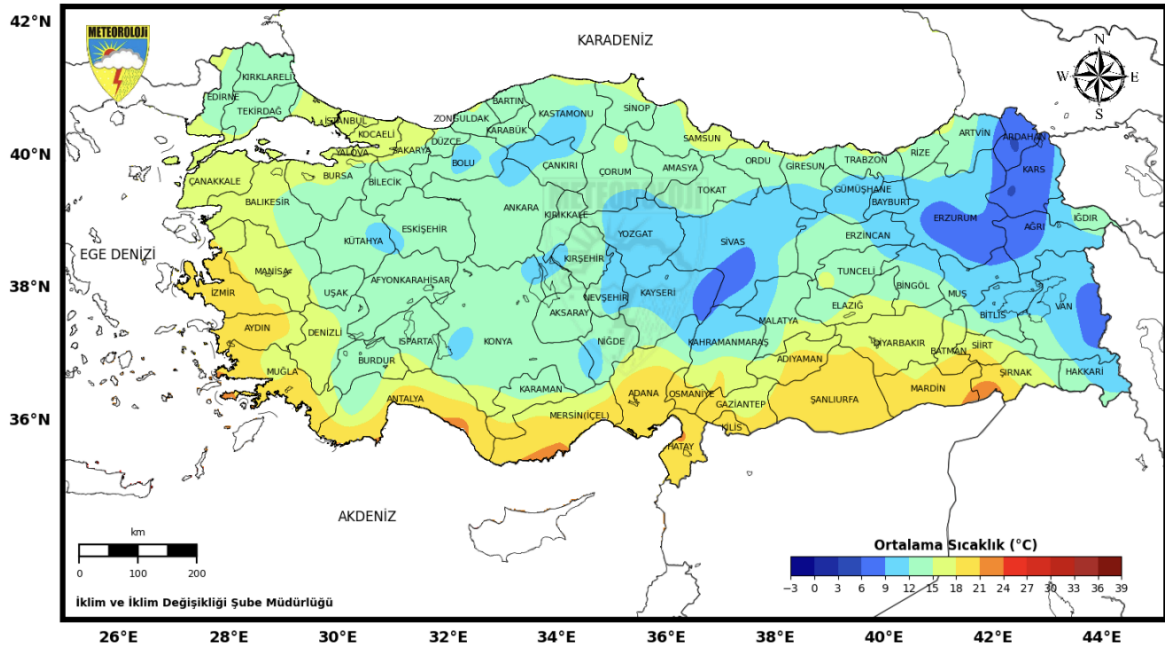
Penman (1963) yöntemleri ile, referans potansiyel evapotranspirasyon Penman-Monteith yöntemi ile, buharlaşma ise özel bir denklem türetilerek hesaplanmıştır. Çalışma kapsamında potansiyel ve referans evapotranspirasyon değerlerinin güneş radyasyonu ve buhar basıncından etkilendiği, rüzgar hızının etkisinin ise ihmal edilebilecek kadar az olduğu görülmüştür. Çalışma sonucunda tava katsayısının buharlaşma hesabı ile belirlenmesi halinde en iyi korelasyonu gösterdiği belirlenmiştir.

Literatür araştırması sonuçları, serbest su yüzeyinden (doğal göl, baraj rezervuarı vb.) buharlaşma ölçümü için yaygın olarak kullanılan “A Sınıfı” ölçüm tavaında uygulanan düzeltme katsayısının birçok araştırmacı tarafından incelendiği ve düzeltme faktörünün aylık olarak yeniden değerlendirilmesi gerektiği, tava katsayısının coğrafi konuma ve iklim şartlarına bağlı olarak değişebildiği sonuçlarına ulaşılmıştır. Türkiye’de bu konuda yapılan akademik çalışmaların genellikle bir saha için uygulandığı görülmektedir. Bu nedenle bu tez çalışmasında Türkiye’nin farklı bölgelerinde farklı özelliklere sahip havzalarda yer alan göletler için bir uygulama çalışması geliştirilmiştir.

3. ÇALIŞMA ALANLARI

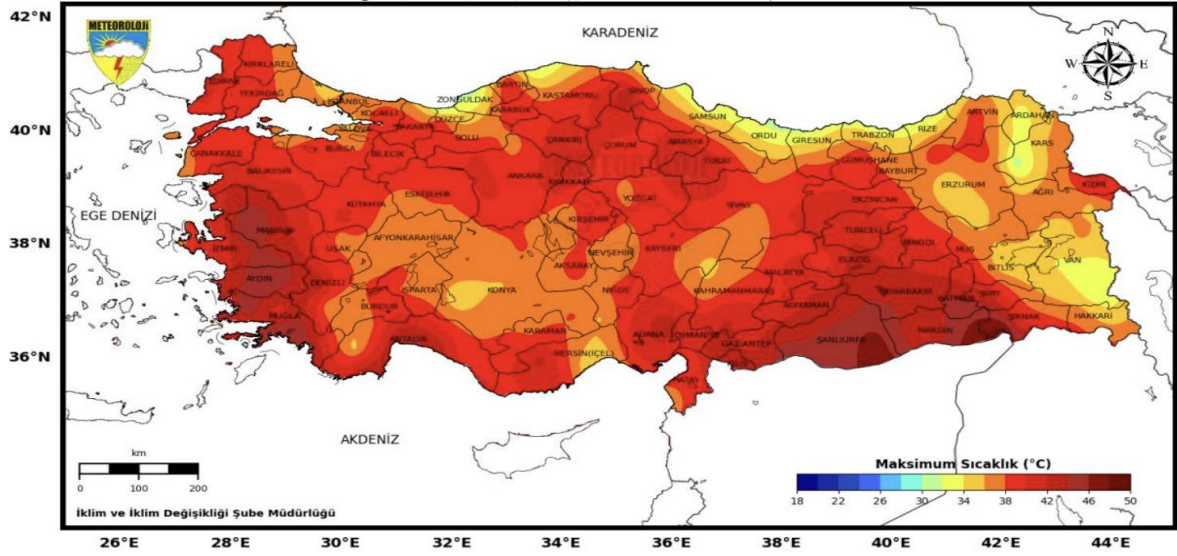
Tez çalışması kapsamında serbest su yüzeyinden buharlaşma miktarının tespiti amacıyla Türkiye’de farklı yörelerde yer alan 11 gölet belirlenmiştir. Seçilen göletler Amasya, Ankara, Bursa, Denizli, Edirne, Elazığ, İzmir, Karaman, Kayseri, Mardin ve Trabzon il sınırları içerisinde yer almaktadır (Harita 3.5). Bu bölümde seçilen istasyonların kurulu olduğu illerin coğrafik ve iklimsel özellikleri hakkında bilgiler yer almaktadır.

Türkiye’nin coğrafi konumu 36° - 42° Kuzey paralelleri ve 26° - 45° Doğu meridyenleri arasında yer almakta olup ılıman iklim kuşağında bulunmaktadır. Fakat coğrafi yapısı sebebiyle ikliminde oldukça çeşitlilik görülmektedir. Bu sebeple çalışma alanları belirlenirken özellikle farklı iklim koşullarına sahip sahalar seçilmiştir. Harita 3.1’de görüldüğü üzere Türkiye’nin 2021 yılı ortalama sıcaklık değerleri bölgelere göre oldukça farklı değerler almaktadır.

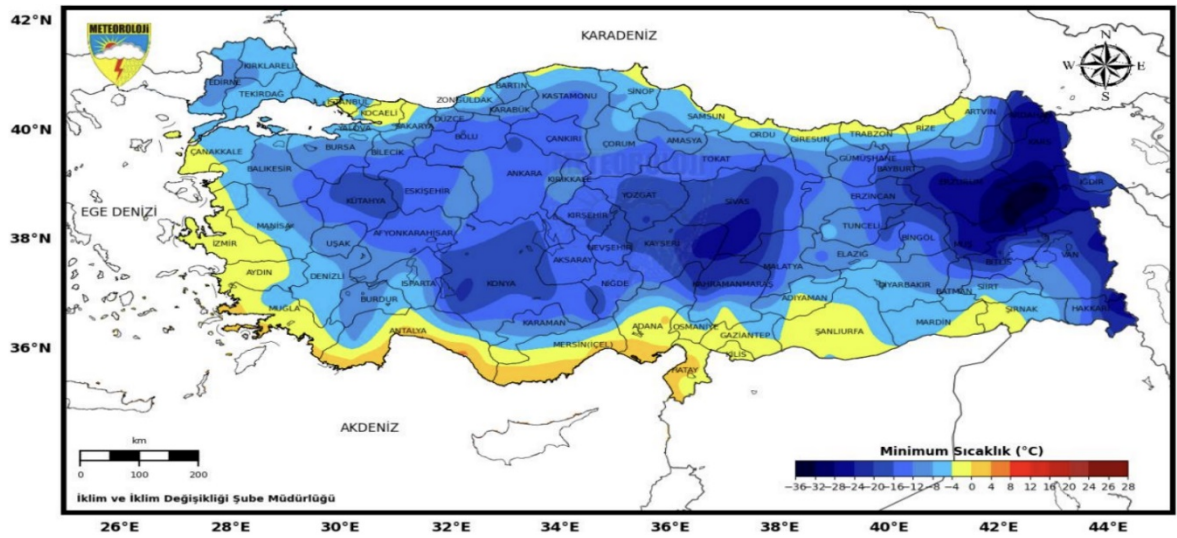


Harita 3.1. Türkiye 2021 yılı ortalama sıcaklık haritası (MGM, 2021)

Harita 3.2 ve Harita 3.3’te 2021 yılı maksimum ve minimum sıcaklık değerleri yer almaktadır. Ülke sınırları içerisinde sıcaklık farkının bu kadar farklı olduğu başka ülkeye rastlamak pek mümkün olmamaktadır (Tuncel, 1993). Bu durum Türkiye’nin ne kadar farklı iklim koşullarına ev sahipliği yaptığını göstermektedir.

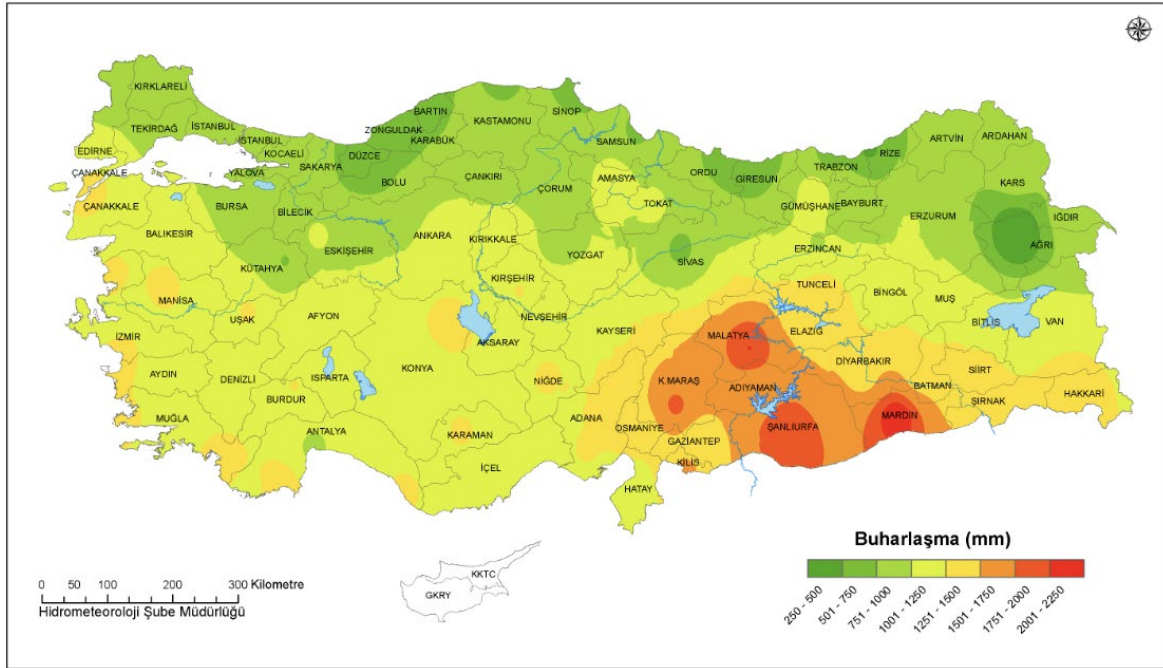


Harita 3.2. 2021 Yılı Maksimum Sıcaklıklar (MGM, 2021)



Harita 3.3. 2021 Yılı Minimum Sıcaklıklar (MGM, 2021)

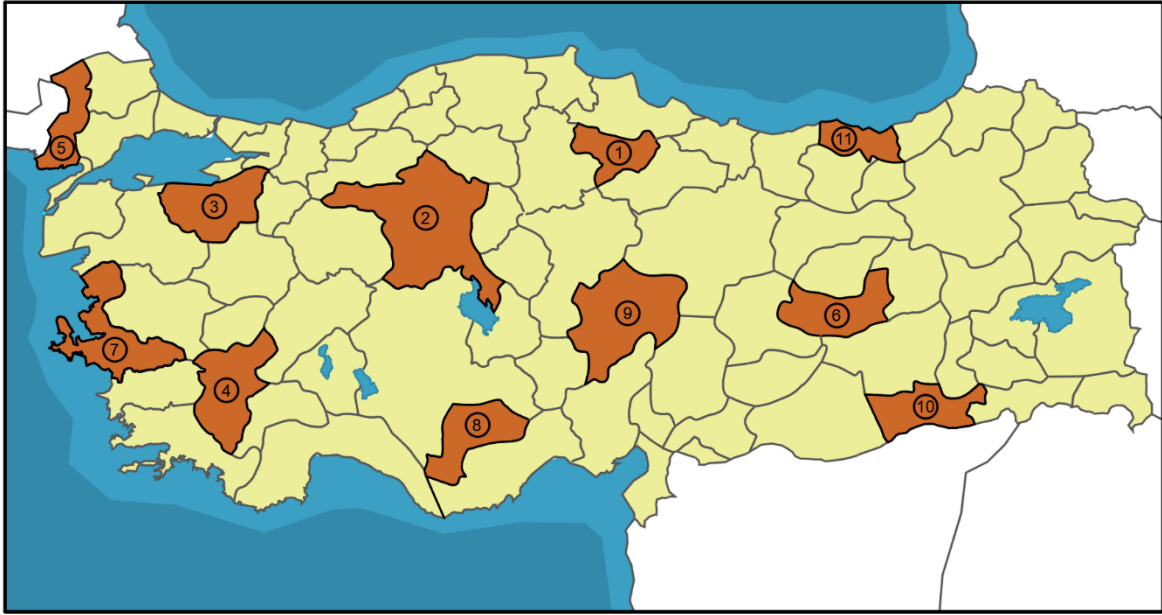
Türkiye'nin farklı bölgelerinde gerçekleşen buharlaşma ölçüm değerleri Harita 3.4 gösterilmiştir. Farklı iklim koşullarına bağlı olarak bölgelere göre buharlaşma miktarında da büyük farklılıklar gözlenmektedir.



Harita 3.4. 2021 Yılı (Mayıs-Ekim) Açık Yüzey Buharlaşma (A sınıfı Buharlaşma Tavası) Haritası (MGM, 2021)

Tez çalışması kapsamında çalışma sahaları belirlenirken Harita 3.4'ten gözlenen buharlaşma miktarlarındaki farklılık sebebiyle farklı bölgelerden saha seçimine özen gösterilmiştir. Ayrıca buharlaşma rasatlarının don tehlikesinin olmadığı Nisan-Ekim dönemi arasındaki aylarda yapıldığı dikkate alınarak çalışma alanları belirlenmiştir. Çalışma sahası olarak seçilen Van ve Kars illeri için meteoroloji istasyonlarında “A Sınıfı” buharlaşma tavası ile yapılan rasatlar incelendiğinde Nisan ve Ekim aylarına ait yeterli ölçümlerin bulunmaması sebebiyle çalışma kapsamından bu sahalar çıkarılmıştır.

Çalışma alanlarının Türkiye’deki yerlerini gösterir vaziyet durumu Harita 3.5’te verilmiştir. Çalışma alanlarına ait istasyon bilgileri ise Çizelge 3.1.’de yer almaktadır.



Harita 3.5. Çalışma Alanlarının Türkiye’deki konumları

Çizelge 3.1. Çalışma Alanlarına Ait İstasyon Bilgileri

No	İstasyon İsmi	İstasyon No	Bölgesi	Enlem-Boylam	Rakım
1	Amasya	17085	Karadeniz	40° 39' - 35° 51'	412
2	Ankara	17130	İç Anadolu	39° 58' - 32° 52'	891
3	Bursa	17116	Marmara	40° 14' - 29° 01'	101
4	Denizli	17237	Ege	37° 47' - 29° 05'	425
5	Edirne	17050	Marmara	41° 40' - 26° 34'	51
6	Elazığ	17201	Doğu Anadolu	38° 39' - 39° 15'	990
7	İzmir	17220	Ege	38° 24' - 27° 05'	29
8	Karaman	17246	İç Anadolu	37° 11' - 33° 13'	1024
9	Kayseri	17196	İç Anadolu	38° 45' - 35° 29'	1093
10	Mardin	17275	Güney Doğu	37° 18' - 40° 44'	1050
11	Trabzon	17037	Karadeniz	41° 00' - 39° 43'	30

Çalışma alanlarından ilki Amasya ilidir. Amasya ili; Orta Karadeniz Bölümünün iç kısmında yer almaktadır. Doğudan Tokat, güneyden Tokat ve Yozgat, batıdan Çorum, kuzeyden Samsun illeri ile çevrilidir. Amasya ilinde içme, sulama ve kullanma amaçlı birçok baraj ve gölet bulunmaktadır; Sarayözü Barajı, Ziyaret Barajı, Yassıçal Barajı, Yedikır Barajı, Değirmendere Barajı, Gediksaray Barajı, Çitli Göleti, Ayvalı Göleti, İmirler Göleti, Yeniköy Göleti, Ortaköy Göleti, Doğantepe Göleti, Yassıçal Göleti, İbecik Göleti, Ziyaret Göleti, Sarıbuğday Göleti, Paşa Göleti, Yakacık Göleti, Bayırlı Göleti, Kızılgüldüren Göleti, Uluköy Göleti ve Ağılönü Göleti (DSİ 7.Bölge Müdürlüğü, 2022). Çok sayıda baraj ve gölet yapılarına ev sahipliği yapan Amasya için buharlaşma miktarının doğru hesaplanması oldukça önem arz etmektedir. Bu çalışma kapsamında Amasya DMİ'den alınan veriler kullanılarak Amasya ili ve çevresinde, buharlaşma miktarının doğru şekilde belirlenebilmesi için en uygun tava katsayısı değeri araştırılmıştır. Verilerin temin edildiği Amasya DMİ, 40° 39' - 35° 51' enlem ve boylamında yer almaktadır. İstasyonun deniz seviyesinden yüksekliği 412 m'dir.

Amasya ilinde Karadeniz iklimi ile karasal iklim arasında bir geçiş iklimi hüküm sürer. Yazları kara iklimi kadar kurak olurken Karadeniz iklimi kadar yağışlı değildir. Kışları ise Karadeniz iklimi kadar ılıman, kara iklimi kadar sert değildir. Ayrıca Yeşilırmak nehrinin ve vadinin verdiği yumuşatıcı etki de yadsınamaz boyuttadır. Kış mevsiminde vadinin verdiği özellikten dolayı yükseklerde kar olsa bile şehir merkezinde kar etkisizdir (Özdemir, 1994).

Amasya ili 1961-2021 yıllarına ait ortalama sıcaklık, ortalama en yüksek sıcaklık, ortalama en düşük sıcaklık, ortalama güneşlenme süresi, ortalama yağışlı gün sayısı, aylık toplam yağış miktarı ortalaması, en yüksek sıcaklık ve en düşük sıcaklık değerleri Çizelge 3.2'de yer almaktadır.

Çizelge 3.2. Amasya ili uzun yıllar meteorolojik istatistikleri (MGM, 2021)

AMASYA	Ortalama Sıcaklık (°C)	Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	En Yüksek Sıcaklık (°C)	En Düşük Sıcaklık (°C)
Ocak	2,60	7,00	-0,80	2,20	10,85	49,50	23,50	-21,00
Şubat	4,50	9,80	0,30	3,30	8,08	37,00	24,80	-20,40
Mart	8,30	14,60	3,10	4,50	10,69	48,00	31,20	-15,30
Nisan	13,30	20,40	7,20	5,90	9,92	53,60	35,80	-5,10
Mayıs	17,60	25,10	11,10	7,40	12,23	54,00	37,90	-0,10
Haziran	21,30	28,70	14,50	8,80	9,00	39,30	41,80	4,80
Temmuz	23,80	31,20	16,70	9,60	3,00	16,40	45,00	8,50
Ağustos	23,80	31,50	16,70	9,20	1,92	10,20	42,20	8,80
Eylül	2,00	27,90	13,00	7,50	3,77	19,80	43,50	3,00
Ekim	14,60	21,90	8,70	5,00	6,92	34,60	36,00	-2,90
Kasım	8,50	14,60	3,80	3,40	6,31	42,90	29,70	-9,50
Aralık	4,50	8,80	1,30	2,10	11,23	54,90	22,90	-12,70
Yıllık	13,60	20,10	8,00	5,70	93,90	460,20	45,00	-21,00

Çalışma alanlarından bir diğeri olan Ankara ili, İç Anadolu bölgesinde yer almaktadır. Ankara, Sakarya ve Kızılırmak nehirlerinin tam ortasında bulunmaktadır. Ankara’da içme, sulama ve kullanma amaçlı birçok baraj ve gölet bulunmaktadır; Bayındır Barajı, Çamlıdere Barajı, Çubuk I Barajı, Çubuk II Barajı, Asartepe Barajı, Kurtboğazı Barajı, Kesikköprü Barajı, Sarıyar Barajı, Çamlılı Barajı, Kızılca Göleti, Kösrelilik Göleti, Kızık Göleti, Susuz Göleti, Karaahmetli Barajı, Ilıca Barajı, Hacımuslu Göleti, Üçbaş Göleti, Kırköy Göleti, Karagüney Göleti, Çeştepe Göleti, İğdir Göleti, Çeltikçi Barajı, Aşağı Höyük Göleti, Bucuk Göleti, Çamalan Göleti, Tekirler Göleti, Örencik Göleti, Aşağıkaraören Göleti, Köprüdere Göleti, Samsa Göleti, Şarlayık Göleti, Bağ Deresi Göleti, Sakarya Kışlası Göleti, Çamlıdere-Müsellim Göleti , Gökler Göleti ve Tekke Göleti (DSİ 5.Bölge Müdürlüğü, 2022). Bu çalışma kapsamında Ankara DMİ’den alınan veriler kullanılarak Ankara ili ve çevresinde, buharlaşma miktarının doğru şekilde belirlenebilmesi için en uygun tava katsayısı değeri araştırılmıştır. Verilerin temin edildiği Ankara DMİ, 39° 58' - 32° 52' enlem ve boylamında yer almaktadır. İstasyonun deniz seviyesinden yüksekliği 891 m’dir.

Ankara İlinin güney ve orta bölümlerinde karasal iklimin soğuk ve kar yağışlı kışları ile sıcak ve kurak yazları, kuzeyinde ise Karadeniz ikliminin ılıman ve yağışlı halleri görülmektedir (Erdem, 1987).

Ankara ili 1927-2021 yıllarına ait ortalama sıcaklık, ortalama en yüksek sıcaklık, ortalama en düşük sıcaklık ortalama güneşlenme süresi, ortalama yağışlı gün sayısı, aylık toplam yağış miktarı ortalaması, en yüksek sıcaklık ve en düşük sıcaklık değerleri Çizelge 3.3'te yer almaktadır.

Çizelge 3.3. Ankara ili uzun yıllar meteorolojik istatistikleri (MGM, 2021)

ANKARA	Ortalama Sıcaklık (°C)	Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	En Yüksek Sıcaklık (°C)	En Düşük Sıcaklık (°C)
Ocak	0,20	4,20	-3,20	2,60	11,29	40,50	18,40	-24,90
Şubat	1,70	6,50	-2,30	3,80	10,53	35,30	21,30	-24,20
Mart	5,70	11,50	0,70	5,10	11,82	39,30	27,80	-19,20
Nisan	11,20	17,40	5,30	6,50	10,35	42,20	31,60	-7,20
Mayıs	16,10	22,40	9,70	8,40	12,24	51,30	34,40	-1,60
Haziran	20,00	26,70	12,90	10,00	10,06	35,20	37,00	3,80
Temmuz	23,40	30,30	15,90	11,20	3,53	14,10	41,00	4,50
Ağustos	23,40	30,50	16,00	10,60	3,59	12,50	40,40	5,50
Eylül	18,90	26,10	11,80	9,10	4,29	18,00	39,10	-1,50
Ekim	13,20	20,00	7,10	6,70	7,47	27,50	33,30	-9,80
Kasım	7,30	13,10	2,50	4,60	6,76	31,50	24,70	-17,50
Aralık	2,50	6,50	-0,80	2,50	11,06	44,60	20,40	-24,20
Yıllık	12,00	17,90	6,30	6,80	103,00	392,00	41,00	-24,90

Bursa ili Marmara Bölgesinin Güney Marmara bölümünde yer almaktadır. Kuzeyinde Marmara Denizi bulunmaktadır. Bursa ilinde içme, sulama ve kullanma amaçlı birçok baraj ve gölet bulunmaktadır; Alangünü Barajı, Kocayayla Barajı, Küçükkuşla Barajı, Kayacık Barajı, Gökçesu Barajı, Aktaş Barajı, Ericek Barajı, Gözede Barajı, Altıntaş Barajı, Çiçekközü Barajı, Deveci Konağı Barajı ve HES Projesi, Mahmudiye Barajı, Dağdibi Barajı, Boğazköy Barajı, Karıncalı Barajı, Babasultan Barajı, Çınarcık Barajı, Nilüfer Barajı, Kurşunlu Barajı, Büyükorhan Barajı, Hasanağa Barajı, Doğancı Barajı, Demirtaş Barajı, Gölbaşı Barajı, Derbent Göleti, Çavuşköy Göleti, Nüzhetiye Göleti, Fethiye Göleti, Sorgun Göleti, Söğüt Göleti, Büyükdeliller Kızılkaya Göleti, Güngören Göleti, Göynükbelen Göleti,

Hisardere Göleti, Kınık Göleti, Şevketiye Göleti, Bayramdere Göleti, Çamlık Göleti, Uludağ Üniversitesi Yolçatı (Göbelye) Göleti , Çalı Göleti, Uşakpınar Göleti, Kayapa Göleti, Halhalca Göleti, Yenice Göleti, Gölcük Göleti, Kozluören Göleti, Eymir Göleti, Akalan Göleti ve Burcun Göleti (DSİ 1.Bölge Müdürlüğü, 2022). Bu çalışma kapsamında Bursa DMİ'den alınan veriler kullanılarak Bursa ili ve çevresinde, buharlaşma miktarının doğru şekilde belirlenebilmesi için en uygun tava katsayısı değeri araştırılmıştır. Verilerin temin edildiği Bursa DMİ, 40° 14' - 29° 01' enlem ve boylamında yer almaktadır. İstasyonun deniz seviyesinden yüksekliği 101 m'dir.

Genellikle ılıman bir iklime sahiptir. Ancak, iklim bölgelere göre de değişiklik göstermektedir. Kuzeyde Marmara Denizinin yumuşak ve ılık iklimine karşılık güneyde Uludağ'ın sert iklimi ile karşılaşmaktadır (Cinel, 1986).

Bursa ili 1928-2021 yıllarına ait ortalama sıcaklık, ortalama en yüksek sıcaklık, ortalama en düşük sıcaklık ortalama güneşlenme süresi, ortalama yağışlı gün sayısı, aylık toplam yağış miktarı ortalaması, en yüksek sıcaklık ve en düşük sıcaklık değerleri Çizelge 3.4'te yer almaktadır.

Çizelge 3.4. Bursa ili uzun yıllar meteorolojik istatistikleri (MGM, 2021)

BURSA	Ortalama Sıcaklık (°C)	Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	En Yüksek Sıcaklık (°C)	En Düşük Sıcaklık (°C)
Ocak	5,40	9,50	1,70	2,90	14,94	89,40	25,20	-20,50
Şubat	6,20	10,90	2,20	3,50	13,59	75,70	26,90	-19,60
Mart	8,40	13,80	3,60	4,20	14,47	69,90	32,50	-10,50
Nisan	12,90	18,90	7,20	5,80	11,12	61,80	36,20	-4,20
Mayıs	17,70	23,90	11,40	7,80	10,00	50,90	37,00	0,80
Haziran	22,00	28,40	15,00	9,70	8,76	34,80	41,30	4,00
Temmuz	24,50	30,80	17,20	10,70	3,24	22,30	43,80	8,30
Ağustos	24,30	31,00	17,30	10,00	2,88	18,30	42,60	7,60
Eylül	20,30	27,20	13,70	7,90	7,29	43,70	40,30	3,30
Ekim	15,60	21,90	10,10	5,50	11,24	66,50	37,30	-1,00
Kasım	11,10	16,50	6,40	4,00	9,59	76,30	31,00	-8,40
Aralık	7,30	11,60	3,60	2,90	13,41	99,90	27,30	-17,90
Yıllık	14,60	20,40	9,10	6,20	120,50	709,50	43,80	-20,50

Denizli ili Anadolu Yarımadası'nın güneybatı, Ege Bölgesi'nin güneydoğusunda yer alır. Ege ve Akdeniz Bölgeleri arasında bir geçit konumundadır. Denizli ilinin her iki bölge üzerinde de sınırı bulunmaktadır. Denizli ilinde içme, sulama ve kullanma amaçlı birçok baraj ve gölet bulunmaktadır; Adıgüzel Barajı, Gökpınar Çardak Beylerli Barajı, Cindere Barajı, Yenidere Barajı, Baklan Boğaziçi Barajı, Akalan Barajı, Beyağaç Barajı, Buldan Hasanbeyler Barajı, Tavas Kızıldere Barajı, Tavas Kozlar Barajı, Aydınlar Akbaş Barajı, Beyağaç Sarp Deresi Barajı, Çal Bayıralan Barajı, Acıpayam Alaattin Barajı, Tavas Göleti, Acıpayam Darıveren Göleti, Buldan Dımbazlar Göleti, Çivril Gürpınar Göleti, Güney Çamrak Göleti, Güney Eziler Göleti, Tavas Seki Göleti, Yeşilyuva Göleti ve Yahşiler Göleti (DSİ 21.Bölge Müdürlüğü, 2022). Bu çalışma kapsamında Denizli DMİ'den alınan veriler kullanılarak Denizli ili ve çevresinde, buharlaşma miktarının doğru şekilde belirlenebilmesi için en uygun tava katsayısı değeri araştırılmıştır. Verilerin temin edildiği Denizli DMİ, 37° 47' - 29° 05' enlem ve boylamında yer almaktadır. İstasyonun deniz seviyesinden yüksekliği 425 m'dir.

İlin kuzey kısmı Ege, güney kısmı Akdeniz bölgesine dahildir. Kıyı kesimlerinden iç bölgelere geçit yerinde olduğundan denizel etki (ılıman hava) Denizli İl merkezi ve ilçelerine kadar etkiler ve sert havayı yumuşatır, kuzey kısımda az da olsa iç bölgelerin iklimi hissedilir. Ege Bölgesi iklimi sıcaklık ortalamalarında görülebilir. Denizli'de dağlar genel olarak denize doğru dik olduğundan, denizden gelen rüzgarlara açık bulunmaktadır (Akbaş, 2021).

Denizli ili 1957-2021 yıllarına ait ortalama sıcaklık, ortalama en yüksek sıcaklık, ortalama en düşük sıcaklık ortalama güneşlenme süresi, ortalama yağışlı gün sayısı, aylık toplam yağış miktarı ortalaması, en yüksek sıcaklık ve en düşük sıcaklık değerleri Çizelge 3.5'te yer almaktadır.

Çizelge 3.5. Denizli ili uzun yıllar meteorolojik istatistikleri (MGM, 2021)

DENİZLİ	Ortalama Sıcaklık (°C)	Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	En Yüksek Sıcaklık (°C)	En Düşük Sıcaklık (°C)
Ocak	5,90	10,60	2,30	3,70	12,24	91,60	22,60	-10,50
Şubat	7,20	12,40	3,10	4,50	10,59	70,10	25,90	-11,40
Mart	10,20	16,00	5,40	5,70	11,41	63,00	30,80	-7,00
Nisan	14,70	20,90	9,20	7,00	8,29	51,30	35,80	-2,00
Mayıs	19,60	26,40	13,40	9,00	8,71	43,20	39,50	2,70
Haziran	24,30	31,30	17,40	10,90	6,35	26,90	44,10	7,90
Temmuz	27,30	34,60	20,30	11,80	2,18	14,70	43,90	12,60
Ağustos	27,00	34,60	19,90	10,90	2,18	10,70	44,40	11,60
Eylül	22,60	30,10	15,90	9,20	3,71	16,20	41,60	6,60
Ekim	17,00	23,90	11,50	6,80	6,94	35,90	36,90	-0,80
Kasım	11,60	17,40	7,10	5,00	6,82	54,60	29,90	-4,50
Aralık	7,60	12,20	4,10	3,50	11,59	90,50	26,60	-10,40
Yıllık	16,20	22,50	10,80	7,30	91,00	568,70	44,40	-11,40

Edirne ili Marmara Bölgesi'nin Trakya kısmında yer alır. Güneyde Ege denizi, kuzeyde Bulgaristan, batıda Yunanistan, doğuda Tekirdağ, Kırklareli ve Çanakkale ile çevrilidir. Edirne, Tunca, Arda ve Meriç ırmaklarının buluştuğu düzlükte kurulmuştur. Edirne ilinde içme, sulama ve kullanma amaçlı birçok baraj ve gölet bulunmaktadır; Hamzadere Barajı, Çakmak Barajı, Sazlıdere Barajı, Dombay Barajı, Harmanlı Barajı, Seydiköy Barajı, Altıntaş Göleti, Lalacık Göleti, Umurca Göleti, Salarlı Göleti, Yenimuhacir Gökyar Göleti, Bahçeköy Göleti, Çamlıca İhlamurdere Göleti, Manastırdere Göleti, Çelebi Göleti, Çeltik Göleti, Suluca Göleti, Lalapaşa-2 Göleti, Künkdere Göleti, Tayakadın Göleti, Çamlıca Göleti, Beğendik Göleti, Gazihalil Göleti, Çiftlikköy Göleti, Elmalı Göleti, Küçükdoğanca Göleti, Karlıköy Göleti, Beyköy Göleti, Karaincirli Göleti, Mahmutköy Göleti, Gazimehmet Göleti, Karabürçek Göleti, Kırkkavak Göleti, Merkez Göleti Yükseltilmesi, Gazihalil Göleti, Keramettin Göleti ve Yenimuhacir Göleti (DSİ 11.Bölge Müdürlüğü, 2022). Bu çalışma kapsamında Edirne DMİ'den alınan veriler kullanılarak Edirne ili ve çevresinde, buharlaşma miktarının doğru şekilde belirlenebilmesi için en uygun tava katsayısı değeri araştırılmıştır. Verilerin temin edildiği Edirne DMİ, 41° 40' - 26° 34' enlem ve boylamında yer almaktadır. İstasyonun deniz seviyesinden yüksekliği 51 m'dir.

Edirne hem Akdeniz ikliminin hem de Orta Avrupa'ya özgü karasal iklimin etkisi altında kalan bir geçiş bölgesidir. Bölge Karadeniz, Ege ve Marmara denizlerin de etkileriyle zaman zaman ve yer yer farklı iklim özellikleri gösterir. Kışları, Akdeniz iklimi etkisini gösterdiği zamanlarda ılık ve yağışlı, kara iklimi etkisini gösterdiğinde de oldukça sert ve kar yağışlı geçmektedir. Yazlar sıcak ve kurak, bahar dönemi yağışlıdır. İlin bitkisel üretim açısından önem taşıyan Ergene Havzası'nda ise sert bir kara iklimi egemendir. Çevresi dağlara sınırlı olan bu yörenin denizlerden gelen yumuşatıcı etkilere kapalı olması bu iklim yapısını ortaya çıkarmaktadır (Yurt Ansiklopedisi, 1982).

Edirne ili 1930-2021 yıllarına ait ortalama meteorolojik istatistik değerleri Çizelge 3.6'da yer almaktadır.

Çizelge 3.6. Edirne ili uzun yıllar meteorolojik istatistikleri (MGM, 2021)

EDİRNE	Ortalama Sıcaklık (°C)	Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	En Yüksek Sıcaklık (°C)	En Düşük Sıcaklık (°C)
Ocak	2,60	6,60	-0,60	2,40	11,53	66,60	20,50	-19,50
Şubat	4,30	9,30	0,40	3,60	8,82	52,30	23,30	-19,00
Mart	7,60	13,30	2,90	4,40	10,35	50,60	28,00	-12,00
Nisan	12,80	19,30	7,10	6,20	9,06	47,90	33,50	-4,10
Mayıs	18,00	24,70	11,70	8,00	9,82	52,50	37,10	0,70
Haziran	22,20	29,20	15,50	9,20	9,35	47,50	42,60	6,00
Temmuz	24,60	31,90	17,40	10,20	5,06	32,40	44,10	8,00
Ağustos	24,40	27,40	17,20	9,80	2,41	22,60	41,90	8,90
Eylül	20,10	20,70	13,40	7,50	5,06	36,10	39,90	0,20
Ekim	14,40	14,10	9,20	5,20	8,35	58,10	35,80	-3,70
Kasım	9,10	8,50	5,20	3,20	8,12	66,80	28,00	-9,40
Aralık	4,60	19,70	1,30	2,20	12,24	71,00	22,80	-14,90
Yıllık	13,70	22,50	8,40	6,00	100,20	604,40	44,10	-19,50

Elazığ ili Doğu Anadolu Bölgesi'nin güneybatısında, Yukarı Fırat Bölümü'nde yer almaktadır. Doğuda Bingöl, kuzeyde Keban Baraj Gölü aracılığı ile Tunceli, batı ve güneybatıda Karakaya Baraj Gölü aracılığıyla Malatya, güneyden ise Diyarbakır illerinin ile çevrilidir. Elazığ ilinde içme, sulama ve kullanma amaçlı birçok baraj ve gölet bulunmaktadır; Keban Barajı, Cıp Barajı, Kalecik Barajı, Alacakaya Esenlik Barajı, Baskil

Akuşığı Barajı, Baskil İçlikaval Barajı, Beyhan 1 Barajı, Dedeyolu Barajı, Hamzabey (Baltaş) Barajı, Kepektaş Barajı, Kapıaçmaz Barajı, Durmuştepe Barajı, Pembelik Barajı, Seyrantepe Barajı, Tadım Göleti ve Işıktepe Göleti (DSİ 9.Bölge Müdürlüğü, 2022). Bu çalışma kapsamında Elazığ DMI'den alınan veriler kullanılarak Elazığ ili ve çevresinde, buharlaşma miktarının doğru şekilde belirlenebilmesi için en uygun tava katsayısı değeri araştırılmıştır. Verilerin temin edildiği Elazığ DMI, 38° 39' - 39° 15' enlem ve boylamında yer almaktadır. İstasyonun deniz seviyesinden yüksekliği 990 m'dir.

Geçmişte karasal iklimin hüküm sürdüğü Elazığ yapılan ve yapılmakta olan barajların etkisi ile ılıman bir iklime geçiş yapmıştır. Bu sürecin sonucunda özellikle önceleri çok soğuk ve yoğun kar yağışlı geçen kışlar nispeten daha ılıman geçmektedir. İlde bölge iklim koşullarına göre oldukça ılıman bir iklim hüküm sürmektedir (Tonbul, 1990).

Elazığ ili 1939-2021 yıllarına ait ortalama meteorolojik istatistik değerleri Çizelge 3.7'de yer almaktadır.

Çizelge 3.7. Elazığ ili uzun yıllar meteorolojik istatistikleri (MGM, 2021)

ELAZIĞ	Ortalama Sıcaklık (°C)	Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	En Yüksek Sıcaklık (°C)	En Düşük Sıcaklık (°C)
Ocak	-0,80	3,00	-3,90	2,70	10,08	41,40	13,00	-22,60
Şubat	0,70	5,10	-3,00	3,80	8,92	42,60	18,60	-21,40
Mart	5,60	10,90	1,00	5,20	9,54	55,60	26,40	-17,00
Nisan	11,90	17,80	6,40	6,60	9,77	63,40	32,20	-7,00
Mayıs	17,20	23,70	10,90	8,70	11,23	51,80	36,60	0,00
Haziran	22,80	29,80	15,40	11,00	4,38	12,40	38,60	4,00
Temmuz	27,20	34,30	19,40	11,80	2,00	3,30	42,40	6,70
Ağustos	26,90	34,30	19,20	11,10	0,46	1,90	42,20	10,20
Eylül	22,00	29,50	14,60	9,60	2,85	8,60	39,00	1,00
Ekim	15,00	21,70	9,00	6,90	5,69	39,70	32,10	-2,20
Kasım	7,50	12,80	3,20	4,60	6,92	48,40	24,30	-15,20
Aralık	1,70	5,50	-1,30	2,40	11,77	46,00	19,60	-22,60
Yıllık	13,10	19,00	7,60	7,00	83,60	415,10	42,40	-22,60

İzmir ili Ege Bölgesinde yer almaktadır. Etrafı Aydın, Balıkesir, Manisa illeri ve Ege Denizi ve Ege Adaları ile çevrilidir. İzmir ilinde içme, sulama ve kullanma amaçlı birçok baraj ve gölet bulunmaktadır; Çıtak Barajı, Güzelhisar Barajı, Burgaz (Zeytinova) Barajı, Balçova Barajı, Çaltıkoru Barajı, Çamavlu Barajı Çamtepe Barajı, Karalar Barajı, Kestel Barajı, Yortanlı Barajı, Karaçam Barajı, Çandarlı Barajı, Bozköy Barajı, Karareis Barajı, Mordoğan Barajı, Salman Barajı, Kutlu Aktaş (Alaçatı) Barajı, Bağyurdu Barajı, Çatak Barajı, Haliller Barajı, Ataköy Barajı, Gümüldür Barajı, Özdere Barajı, Tahtalı Barajı, Emiralem Barajı, Süleymanlı Barajı, Aktaş Barajı, Bademli Barajı, Beydağ Barajı, Seferihisar Barajı, Kavakdere Barajı, Ürkmez Barajı, Eskioba Barajı, Yenişehir Barajı ve Karakızlar Barajı (DSİ 2.Bölge Müdürlüğü, 2022). Bu çalışma kapsamında İzmir DMİ'den alınan veriler kullanılarak İzmir ili ve çevresinde, buharlaşma miktarının doğru şekilde belirlenebilmesi için en uygun tava katsayısı değeri araştırılmıştır. Verilerin temin edildiği İzmir DMİ, 38° 24' - 27° 05' enlem ve boylamında yer almaktadır. İstasyonun deniz seviyesinden yüksekliği 29 m'dir.

Akdeniz ikliminin görüldüğü İzmir'de yaz mevsimi sıcak ve kurak, kış mevsimi ılık ve yağışlı geçer. Bir yılda ilde hava sıcaklığı sıfırın altına düştüğü gün sayısı yaklaşık ondur. Yılda yaklaşık 100 gün ise 30 derecenin üzerinde yaşanır. Kar yağışı nadir görülür. Yıllık yağış miktarı 700-1.200 mm arasındadır. Yaz aylarında şehre özgü imbat adı verilen serin rüzgâr esmektedir (Koçman, 1993).

İzmir ili 1938-2021 yıllarına ait ortalama meteorolojik istatistik değerleri Çizelge 3.8'de yer almaktadır.

Çizelge 3.8. İzmir ili uzun yıllar meteorolojik istatistikleri (MGM, 2021)

İZMİR	Ortalama Sıcaklık (°C)	Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	En Yüksek Sıcaklık (°C)	En Düşük Sıcaklık (°C)
Ocak	8,80	12,40	5,80	4,30	12,82	136,90	22,50	-8,20
Şubat	9,60	13,60	6,20	5,20	11,47	102,90	27,00	-5,20
Mart	11,70	16,30	7,70	6,40	10,47	75,80	30,50	-3,80
Nisan	15,80	20,90	11,10	7,90	7,47	46,00	32,50	0,60
Mayıs	20,80	26,10	15,50	9,80	6,82	31,50	37,60	4,30
Haziran	25,40	30,70	19,80	11,60	4,06	12,30	41,30	9,50
Temmuz	27,90	33,20	22,50	12,30	0,29	4,10	42,60	15,40
Ağustos	27,70	33,00	22,40	11,90	0,71	5,60	43,00	11,50
Eylül	23,70	29,20	18,70	10,10	2,76	15,30	40,10	10,00
Ekim	18,90	24,00	14,60	7,60	5,59	44,60	36,00	3,60
Kasım	14,30	18,60	10,80	5,60	8,82	92,00	30,30	-2,90
Aralık	10,50	14,10	7,60	4,20	12,88	146,80	25,20	-4,70
Yıllık	17,90	22,70	13,60	8,10	84,20	713,80	43,00	-8,20

Karaman ili İç Anadolu Bölgesinin güneyinde yer almaktadır. Kuzeyinde Konya, güneyinde Mersin, doğusunda Ereğli, güneydoğusunda Silifke, batısında Antalya ile çevrilidir. Karaman ilinde içme, sulama ve kullanma amaçlı birçok baraj ve gölet bulunmaktadır; Gödet Barajı, Ayrancı Barajı, Gezende Barajı, Deliçay Barajı, İbrala Barajı, Ermenek Barajı, Merkez Akın Barajı, Ermenek Kazancı Barajı, Merkez Çukur Barajı, Sarıveliler Barajı, Dokuzyol Göleti, Başyayla Göleti, Ermenek Yukarıçağlar Göleti, Göktepe Esentepe Göleti, Ermenek Sarıvadi Göleti, Merkez Taşkale Göleti, Burhan Göleti, Yollarbaşı Göleti ve Göktepe Göleti (DSİ 4.Bölge Müdürlüğü, 2022). Bu çalışma kapsamında Karaman DMİ'den alınan veriler kullanılarak Karaman ili ve çevresinde, buharlaşma miktarının doğru şekilde belirlenebilmesi için en uygun tava katsayısı değeri araştırılmıştır. Verilerin temin edildiği Karaman DMİ, 37° 11' - 33° 13' enlem ve boylamında yer almaktadır. İstasyonun deniz seviyesinden yüksekliği 1 024 m'dir.

Karaman ilinde genel olarak yazlar sıcak ve kurak, kışlar ise soğuk ve yağışlı geçmektedir. Genel olarak karasal iklim özelliklerini taşıyan Karaman ilinde batı ve güneyinde yer alan vadi tabanlarında yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlı özelliği bulunan Akdeniz ikliminin

özellikleri de görülmektedir (Şensoy, Coşkun, Sümer , Demircan, Gürkan, Eskioğlu, Yazıcı, Türkoğlu & Çiçek, 2017).

Karaman ili 1951-2021 yıllarına ait ortalama meteorolojik istatistik değerleri Çizelge 3.9’da yer almaktadır.

Çizelge 3.9. Karaman ili uzun yıllar meteorolojik istatistikleri (MGM, 2021)

KARAMAN	Ortalama Sıcaklık (°C)	Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	En Yüksek Sıcaklık (°C)	En Düşük Sıcaklık (°C)
Ocak	0,60	5,50	-3,70	3,50	8,46	42,20	21,20	-26,80
Şubat	2,00	7,40	-2,60	4,60	6,54	34,50	22,30	-28,00
Mart	6,40	12,50	0,60	6,30	8,15	36,40	28,70	-20,20
Nisan	11,50	18,20	5,00	7,80	5,92	36,40	32,30	-8,30
Mayıs	16,20	23,30	8,90	9,80	7,85	34,40	34,40	-3,10
Haziran	20,20	27,70	12,50	11,60	6,92	24,50	37,50	3,10
Temmuz	23,40	31,10	15,20	12,60	0,62	5,30	40,40	6,40
Ağustos	23,00	31,00	14,70	11,90	0,85	6,50	40,40	3,60
Eylül	18,80	27,20	10,40	10,20	1,92	8,80	39,10	-1,00
Ekim	13,10	20,70	5,80	7,40	4,69	28,20	33,20	-8,50
Kasım	7,00	13,70	1,20	5,40	4,69	33,30	25,80	-21,20
Aralık	2,60	7,60	-1,60	3,50	10,08	47,30	22,30	-26,10
Yıllık	12,10	18,80	5,50	7,90	66,70	337,80	40,40	-28,00

Kayseri, İç Anadolu’nun güney bölümü ile Toros Dağları’nın birbiriyle kesiştiği yerde, Orta Kızılırmak bölümünde yer alır. Kayseri ilinde içme, sulama ve kullanma amaçlı birçok baraj ve gölet bulunmaktadır; Akköy Barajı, Sarımsaklı Barajı, Ağcaşar Barajı, Kovalı Barajı, Yamula Barajı, Sarıoğlan Barajı, Bahçelik Barajı, Gümüşören Barajı, Felahiye-Kayapınar Göleti, Felahiye-Kepiç Göleti, Koyunabdal Göleti, Ebulhayır Göleti, Darılı Göleti, Efkere Göleti, Tekir Müşker Göleti, Zincidere Göleti, Çörekdere Göleti, Çerkezsöğütlü Göleti, Hazerşah Göleti ve Şeyhli Göleti (DSİ 12.Bölge Müdürlüğü, 2022). Bu çalışma kapsamında Kayseri DMI’den alınan veriler kullanılarak Kayseri ili ve çevresinde, buharlaşma miktarının doğru şekilde belirlenebilmesi için en uygun tava katsayısı değeri araştırılmıştır. Verilerin temin edildiği Kayseri DMI, 38° 45' - 35° 29' enlem ve boylamında yer almaktadır. İstasyonun deniz seviyesinden yüksekliği 1 093 m’dir.

Kayseri İli'nde kışları soğuk ve kar yağışlı, yazları ise sıcak ve kurak karasal nitelikli Orta Anadolu iklimi egemendir. Ancak il iklimi, yükseltiye göre yer yer farklılıklar gösterir. Buna bağlı olarak ilde iklim, çukurda kalan bölgelerde daha yumuşakken, yaylalardan dağlık kesimlere doğru gidildikçe sertleşir (Akman, 1990).

Kayseri ili 1931-2021 yıllarına ait ortalama meteorolojik istatistik değerleri Çizelge 3.10'da yer almaktadır.

Çizelge 3.10. Kayseri ili uzun yıllar meteorolojik istatistikleri (MGM, 2021)

KAYSERİ	Ortalama Sıcaklık (°C)	Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	En Yüksek Sıcaklık (°C)	En Düşük Sıcaklık (°C)
Ocak	-1,60	4,20	-6,80	3,00	10,38	36,20	19,30	-32,50
Şubat	0,30	6,30	-5,10	4,00	7,77	36,30	22,60	-31,20
Mart	4,90	11,50	-1,30	4,90	11,00	43,10	28,60	-28,10
Nisan	10,60	17,70	3,20	6,20	8,85	51,30	31,20	-11,60
Mayıs	15,10	22,60	6,90	8,30	9,54	51,50	34,20	-6,90
Haziran	19,00	26,90	9,80	10,30	8,77	40,50	37,60	-0,60
Temmuz	22,30	30,70	12,10	11,90	1,23	10,50	40,70	2,90
Ağustos	22,00	30,80	11,50	11,40	1,54	8,90	40,60	1,40
Eylül	17,40	26,60	7,40	9,10	2,92	14,60	38,40	-3,80
Ekim	11,90	20,50	3,60	6,70	6,77	27,50	33,60	-12,20
Kasım	5,50	13,10	-0,90	4,90	4,77	31,90	26,00	-20,70
Aralık	0,70	65,00	-4,40	2,90	8,46	37,30	21,00	-28,40
Yıllık	10,70	18,10	3,00	7,00	82,00	389,60	40,70	-32,50

Mardin ili Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin Dicle Bölümü'nde yer alır. Suriye ile sınır komşusudur. Mardin ilinde sınırında dünyanın en uzun ve en büyük gövdesine sahip Ilısu Barajı bulunmaktadır. Aynı zamanda Türkiye'nin en büyük 4'üncü hidroelektrik santrali olan Ilısu Barajı, 1.200 MW kurulu güçle, yıllık 4 milyar 120 milyon kilovatsaat hidroelektrik enerji üretmesiyle beraber 1 milyon dekar tarım arazisinin sulanmasını sağlayarak sulamaya da oldukça büyük katkıda bulunmaktadır. Mardin ilinde ayrıca Derik Dumluca Barajı, Yıldız Göleti ve Şerifbaba Göleti yer almaktadır (DSİ Ilısu Projesi 16. Bölge Müdürlüğü, 2022). Önemli baraj yapılarına ev sahipliği yapan ve kurak bir iklime sahip olan Mardin ili için buharlaşma miktarınının doğru hesaplanması oldukça önem arz etmektedir. Bu çalışma

kapsamında Mardin DMI'den alınan veriler kullanılarak Mardin ili ve çevresinde, buharlaşma miktarının doğru şekilde belirlenebilmesi için en uygun tava katsayısı değeri araştırılmıştır. Verilerin temin edildiği Mardin DMI, 37° 18' - 40° 44' enlem ve boylamında yer almaktadır. İstasyonun deniz seviyesinden yüksekliği 1 050 m'dir.

Bir yanda güneydeki çöl ikliminin etkisi altında bulunması, diğer yandan da kuzeydeki yüksek dağların serin hava kütlelerinin bölgeye girişini engellemesi nedeniyle ilin genelinde yazlar çok sıcak geçerken, karasal iklimin tipik özelliği görülür. Mardin ilinin doğusu kara ikliminin, batısı ise daha çok Akdeniz ikliminin etkisindedir (Yurt Ansiklopedisi, 1983).

Mardin ili 1941-2021 yıllarına ait ortalama meteorolojik istatistik değerleri Çizelge 3.11'de yer almaktadır.

Çizelge 3.11. Mardin ili uzun yıllar meteorolojik istatistikleri (MGM, 2021)

MARDİN	Ortalama Sıcaklık (°C)	Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	En Yüksek Sıcaklık (°C)	En Düşük Sıcaklık (°C)
Ocak	3,00	5,80	0,60	4,50	10,25	117,00	19,40	-13,40
Şubat	4,20	7,30	1,40	5,10	8,92	104,00	19,50	-14,00
Mart	8,00	11,60	4,70	6,00	12,33	97,40	27,50	-11,70
Nisan	13,40	17,30	9,70	7,30	11,58	81,90	33,60	-5,30
Mayıs	19,50	24,00	15,10	9,70	10,08	47,20	36,10	2,60
Haziran	25,60	30,60	20,30	12,10	2,25	6,60	40,00	0,60
Temmuz	29,80	35,00	24,50	12,40	2,17	3,20	42,50	11,80
Ağustos	29,60	34,70	24,70	11,40	0,83	2,30	42,00	12,80
Eylül	25,30	30,10	20,80	10,30	0,92	4,00	39,30	8,00
Ekim	18,60	22,90	14,70	7,70	5,42	33,90	35,60	-2,50
Kasım	11,10	14,50	8,10	5,90	8,25	71,60	26,10	-9,50
Aralık	5,40	8,10	2,90	4,40	11,67	109,90	24,10	-11,90
Yıllık	16,10	20,20	12,30	8,10	84,70	679,00	42,50	-14,00

Trabzon ili Karadeniz Bölgesi'nin Doğu Karadeniz Bölümü'nde yer almaktadır. Trabzon ilinde kent merkezini besleyen tek içme suyu barajı olan Atası Barajı bulunmaktadır. Baraj yıllık 91 hm³'lük içme suyu sağlarken aynı zamanda da 5 MW güç ile yıllık 27 GWh'lik enerji üretmektedir (DSİ 22. Bölge Müdürlüğü, 2022). Bu çalışma kapsamında Trabzon

DMİ'den alınan veriler kullanılarak yağışlı ve nemli bir iklime sahip olan Trabzon ili ve çevresinde, buharlaşma miktarının doğru şekilde belirlenebilmesi için en uygun tava katsayısı değeri araştırılmıştır. Verilerin temin edildiği Trabzon DMİ, 41° 00' - 39° 43' enlem ve boylamında yer almaktadır. İstasyonun deniz seviyesinden yüksekliği 30 m'dir.

Trabzon İklimi, Trabzon ili kuzeydeki kutbi hava kütleleri ile güneydeki tropikal hava kütlelerinin geçiş sahası içerisinde yer almaktadır. Yer yüzüne yakın olan kısımlarda, kış sıcakları, kuzey tarafında Karadeniz'in varlığı ve kıyılara yakın olan ve set gibi uzanan Doğu Karadeniz Dağlarının bulunuşu nedenleri ile aynı enlemdeki diğer sahalara göre daha çok ılıman olmaktadır. Şehrin nem oranı oldukça yüksektir (Karadeniz, 1995).

Trabzon ili 1927-2021 yıllarına ait ortalama meteorolojik istatistik değerleri Çizelge 3.12'de yer almaktadır.

Çizelge 3.12. Trabzon ili uzun yıllar meteorolojik istatistikleri (MGM, 2021)

TRABZON	Ortalama Sıcaklık (°C)	Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	En Yüksek Sıcaklık (°C)	En Düşük Sıcaklık (°C)
Ocak	7,50	10,80	4,70	2,70	12,13	82,70	27,00	-7,00
Şubat	7,30	10,80	4,40	3,30	9,75	64,30	30,10	-7,40
Mart	8,40	12,00	5,50	3,40	14,50	59,10	35,20	-5,80
Nisan	11,70	15,50	8,70	4,40	12,38	56,60	37,60	-2,00
Mayıs	15,90	19,20	13,00	5,60	12,75	52,10	38,20	4,20
Haziran	20,20	23,20	17,10	7,10	11,88	51,50	36,70	9,20
Temmuz	23,00	26,00	20,00	5,90	9,13	35,60	37,00	11,00
Ağustos	23,40	26,60	20,40	5,60	10,13	48,30	38,00	13,50
Eylül	20,40	23,80	17,40	4,90	10,63	78,70	37,90	7,30
Ekim	16,70	20,10	13,70	4,50	13,63	114,30	33,80	3,40
Kasım	13,00	16,50	10,00	3,60	11,13	100,50	32,80	-1,60
Aralık	9,60	13,00	6,70	2,70	11,88	85,20	26,40	-3,30
Yıllık	14,80	18,10	11,80	4,50	139,90	828,90	38,20	-7,40

4. METODOLOJİ

Bu bölüm, çalışmada kullanılan ölçüm metodolojisini içeren doğrudan buharlaşma ölçümlerinin gerçekleştirildiği “*A Sınıfı*” buharlaşma tavaası ve tava üzerinden ölçülen buharlaşma miktarlarının tava katsayısı ile olan bağlantısını, ayrıca konu ile ilgili çalışmalarda yaygın olarak kullanıldığı tespit edilen ve bu çalışma kapsamında da değerlendirmelerde dikkate alınan ampirik bir yöntem olarak Penman eşitliğini açıklamaktadır.

4.1. Buharlaşmanın Ölçülmesi (“A Sınıfı” Buharlaşma Tavaası)

Serbest su yüzeyinden buharlaşma miktarının belirlenmesi için doğrudan ölçüm yapılabilen buharlaşma tavaası (evaporimetre) adı verilen rasat aleti dünyada yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Buharlaşma tavaları, buharlaşma miktarını ölçmek için uzun yıllardır kullanılmaktadır.

Buharlaşma miktarını birçok meteorolojik faktör (sıcaklık, rüzgâr hızı, nispi nem, buhar basıncı, güneşlenme müddeti, albedo vb.) doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle buharlaşmanın doğrudan ölçülebilmesi, doğru sonuçlara ulaşılabilmesi bakımından oldukça önem taşımaktadır. Buharlaşma tavaası hem ucuz bir yöntem olması hem de yıllık buharlaşma miktarı hakkında iyi tahminler sunması sebebiyle kullanımı dünyada ve ülkemizde oldukça yaygındır.

Belli başlı buharlaşma tavaları bulunmaktadır (Çelenk, 1982);

- Toprağa gömülü buharlaşma tavaları,
- Şamandıralı buharlaşma tavaları,
- Satiha kurulan buharlaşma tavaları.

Yukarıda bahsedilen her havuz tipinin kuruluş şekilleri farklı olmaktadır. Güneş radyasyonu havuzdaki suya olduğu kadar suyun bulunduğu kaba da etki etmektedir. Bu sebeple buharlaşma tavaları toprağa gömülerek veya toprak üzerine yapılan ağaç ızgaralar üzerine monte edilmektedir. Benzer durum su miktarı için de geçerlidir. Yani tavada bulunan su miktarı herhangi bir rezervuarda bulunan su kütlelerinden oldukça az olmaktadır. Bu durum enerji emilimi açısından gerçek duruma göre farklılıklar doğurur. Bu tür fiziksel sebepler

nedeniyle, tavadan ölçülen buharlaşma miktarı, büyük bir su kütlesinden (hazne, göl, baraj vb.) oluşan buharlaşma miktarına göre daha yüksek değerde ölçülmektedir. Bu sebeple buharlaşma tavaları ile yapılan ölçümler için tava katsayısı adı verilen düzeltme katsayısı kullanılmaktadır.

Her çeşit tava için farklı katsayı kullanmamak amacıyla standart tavalar geliştirilmiştir. Buharlaşma tavalarından en yaygın olanı A.B.D.'de bulunan İklim Örgütü'nün "A Sınıfı" buharlaşma tavaşı olarak adlandırdığı kaptır (WMO, 1966). US Weather Bureau tarafından tasarlanan "A Sınıfı" buharlaşma tavaşı 112,90 cm veya 120,70 cm çaplarında, 25,4 cm derinliğinde ölçülere sahiptir. Galvaniz sac veya paslanmaz çelikten yapılmış, silindirik biçimindeki yuvarlak buharlaşma havuzları rasat parklarının yağış, rüzgâr ve güneş almaya müsait yerlerine kurulmaktadır.

Bu çalışma kapsamında Meteoroloji Genel Müdürlüğü rasatlarından elde edilen buharlaşma ölçümleri dikkate alınmıştır. MGM'nin buharlaşma rasatı yapılan tüm istasyonlarında "A Sınıfı" yuvarlak buharlaşma tavaşı kullanılmaktadır. İstasyonlardaki buharlaşma tavaları, tahtalar yardımıyla zeminden 15-30 cm yukarıda ahşap iskeleye yerleştirilerek düz bir sathı oturtulmaktadır. Ölçümler yapılırken su seviyesi kap kenar yüksekliğinin 5 cm altına kadar doldurulmaktadır. Su yüzeyindeki alçalma Limnimetre ile ölçülerek buharlaşma miktarı belirlenir. Tavadaki su seviyesinin kap kenar yüksekliğinin 7,5 cm'den daha fazla aşağı düşmesi engellenmektedir. Tavadaki su seviyesinin kap kenar yüksekliğinin 7,5 cm'den aşağı düşmesi durumunda ise tavaya su ilave edilerek referans seviyesine (kap kenar yüksekliğinin 5 cm altı) getirilmektedir. Tavadan ölçülen miktardan yağış miktarı düşülerek buharlaşma miktarı belirlenmektedir. Bu sebeple tavanın yanında rüzgâr ölçümü için anemometre ve yağış ölçer bulunmaktadır (WMO, 2008).

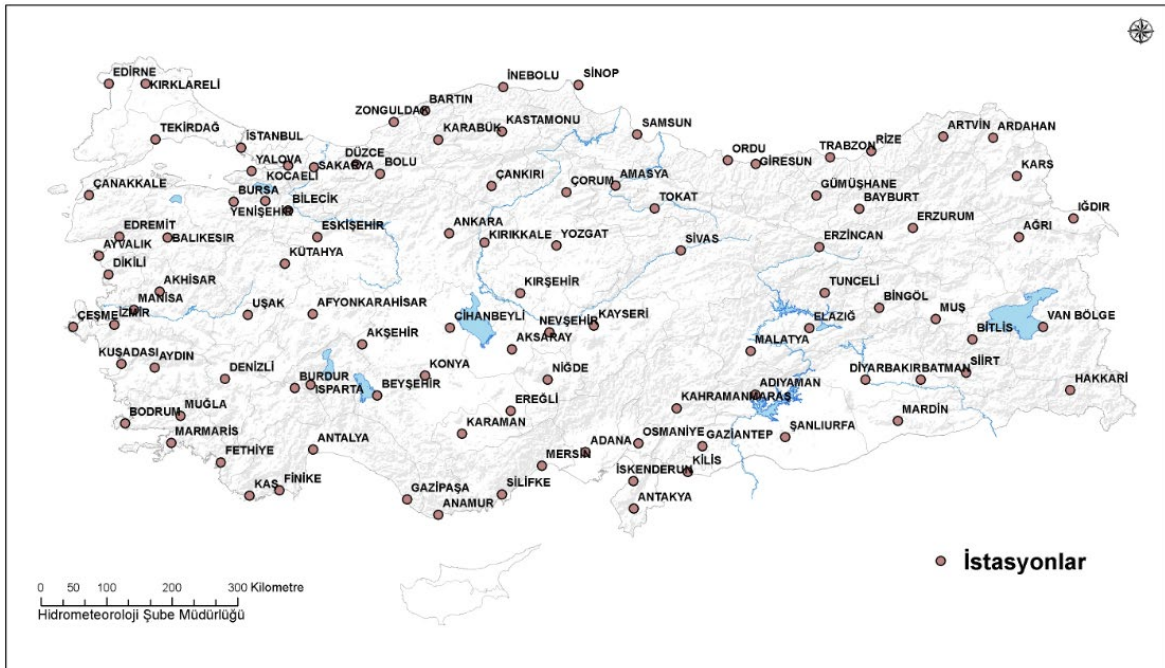
Buharlaşma tavaşı ve gerekli diğer teçhizat Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. A Sınıfı buharlaşma tavası (MGM, 2021)

Türkiye’de “A Sınıfı” buharlaşma tavası kullanılarak don riskinin ortadan kalktığı 6 aylık dönem (Mayıs-Ekim) için açık yüzey buharlaşma rasadı yapılabilmektedir.

Ülkemizde 2021 yılı itibarıyla açık su yüzey buharlaşma rasadı toplam 100 istasyonda gerçekleştirilmiştir. Bu istasyonların tümünde "A Sınıfı" buharlaşma tavası kullanılmaktadır. İlgili istasyonların coğrafi konumları Harita 4.1’de verilmiştir.



Harita 4.1. 2021 Yılı Açık Yüzey Buharlaşma Rasadı Yapan İstasyonlar (MGM, 2021)

Buharlaşma tavaları üzerinden doğru ölçümlerin yapılabilmesi için tavanın temiz ve içindeki suyun kirletilmemiş olması gerekmektedir. Bu sebeple bakımlarının düzenli olarak yapılması gerekmektedir.

4.2. Penman Yöntemi

Buharlaşma tahmini için geçmişten günümüze gelen süreç boyunca birçok formül geliştirilmiştir. Bu formüllerden bir kısmı kütle transferi yöntemini bir kısmı ise enerji bütçesi yöntemini referans almaktadır.

Bölüm 2’de detayları verilen literatür araştırması sonuçları İngiltere’de Howard Penman tarafından 1948-1956 yılları arasında geliştirilmiş olan ve kendi ismi ile anılan Penman Yönteminin günümüzdeki ampirik formüller içerisinde teorik esasları en güçlü formül olarak kabul edildiğini göstermektedir. Enerji bütçesi ve kütle taşınımı ana prensiplerini kullanan Penman birçok meteorolojik faktörü (sıcaklık, rüzgâr hızı, nispi nem, buhar basıncı, güneşlenme müddeti, albedo vb.) içermesi sebebiyle su yüzeyinden günlük ve aylık buharlaşma miktarlarının tahmininde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır.

Penman formülü buharlaşma olayının devamlılığı için iki temel yaklaşımın bir kombinasyonu olarak ortaya çıkmaktadır. Bu yaklaşımlardan birincisi; enerji dengesi temeline oturan buharlaşma ısısı için gereken enerjinin sağlanması olup formülasyonu aşağıda sıralanmıştır (Penman, 1956).

$$Q_n = R_I - R_B \quad (4.1)$$

$$R_I = R_C(1 - r) \quad (4.2)$$

$$R_C = R_A \left(0,2 + 0,48 \frac{n}{D} \right) \quad (4.3)$$

$$R_B = \sigma T_A^4 (0,47 - 0,077 \sqrt{e_a}) \left(0,2 + 0,8 \frac{n}{D} \right) \quad (4.4)$$

Bu formüllerde;

Q_n : Serbest su yüzeyinde kalan net radyasyon miktarı ($\text{g} \cdot \text{kal}/\text{cm}^2/\text{gün}$), Penman eşitliğinde kullanılmak üzere 59 sayısı ile bölünerek $\text{mm}/\text{gün}$ birimine çevrilir.

R_I : Gözlenen net enerji miktarı ($\text{g} \cdot \text{kal}/\text{cm}^2/\text{gün}$),

R_B : Dünyanın net uzun dalga radyasyonu ($\text{g} \cdot \text{kal}/\text{cm}^2/\text{gün}$),

R_C : Güneşten ve gökten gelen ve Yer yüzeyinde ölçülen gerçek kısa dalga radyasyonu ($\text{g} \cdot \text{kal}/\text{cm}^2/\text{gün}$),

R_A : Atmosferin üst (dış) limitine ulaşan güneş radyasyonunun Angot değeri ($\text{g} \cdot \text{kal}/\text{cm}^2/\text{gün}$), (Çizelge 4.2'den bu değerler tespit edilebilir. Çizelgede ara değer enlem dereceleri için lineer interpolasyon yöntemi kullanılmıştır.)

r : Yüzey yansıtma katsayısı (Albedo) Yüzey yansıtma katsayısı (albedo) Çizelge 4.1'de belirtildiği gibi serbest su yüzeyi için 0,06 olarak kabul edilmiştir.

n/D : Gerçek günışığı (ölçülen) saatlerinin (n), mümkün günışığı saatlerine (D) oranıdır. “ D ” değeri Çizelge 4.3'ten coğrafik konum ve ay seçilerek okunabilir. Çizelgede ara değer enlem dereceleri için lineer interpolasyon yöntemi kullanılmıştır.

σ : Lummer ve Pringsheim sabiti ($\text{g} \cdot \text{kal}/\text{cm}^2/\text{gün}$) Bu sabitin değeri $117,74 \times 10^{-9} \text{ g} \cdot \text{kal}/\text{cm}^2/\text{gün}$ 'e eşittir.

T_A : Mutlak yer sıcaklığı ($K = t \text{ } ^\circ\text{C} + 273$),

e_a : Havanın $t \text{ } ^\circ\text{C}$ 'de gerçek buhar basıncı ($\text{mm} \cdot \text{Hg}$),

İkinci yaklaşım ise kütle transferi temeline oturan buharın yüzeyden uzaklaştırılması mekanizması olup formülasyonu aşağıda yer almaktadır:

$$E_a = 0,35(e_s - e_a)(0,5 + 0,54U_2) \quad (4.5)$$

E_a : Buharın kütle transferi ile oluşan net buharlaşması (mm/gün)

e_s : Havanın t °C için doymuş buhar basıncı (mm·Hg) (Çizelge 4.4'ten elde edilir.)

U_2 : 2 m yükseklikte ölçülen rüzgâr hızı (m/s),

Penman, enerji bütçesi ve kütle transferi yöntemlerini birleştirerek çok ince bir açık su yüzeyi kabulü yaparak aşağıdaki denklemi geliştirmiştir;

$$E_{PENMAN} = \frac{\Delta Q_n + \gamma E_a}{\gamma + \Delta} \quad (4.6)$$

E_{PENMAN} : Net buharlaşma (mm/gün)

Δ : Doymuş buhar basıncı eğrisinin t sıcaklığındaki eğimi (mb/°C) olup Şekil 4.2'de gösterilen ve Denklem 4.7'de verilen birinci türev formülü ile hesaplanır:

$$\Delta = \tan \alpha = \frac{e_{s2} - e_{s1}}{t_2 - t_1} \quad (4.7)$$

Bu formülde;

e_{s2} ve e_{s1} sırasıyla 2 ve 1 nolu sıcaklıklarındaki doymuş buhar basınç (mb) değerlerini,

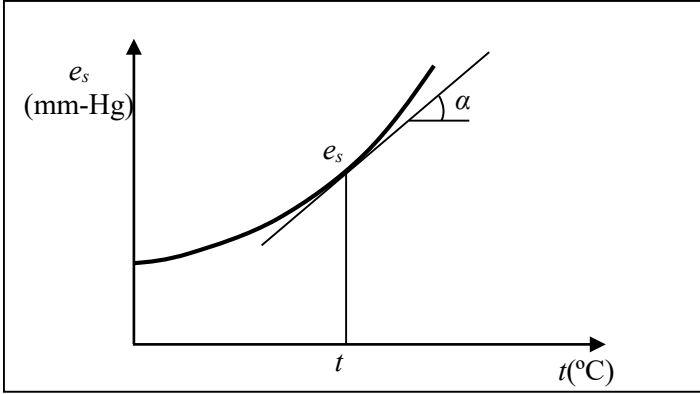
t_2 ve t_1 ise 2 ve 1 nolu noktalarda doymuş havanın sıcaklık (°C) değerlerini ifade etmektedir.

Bu hesaplamalarda genellikle 1 ile 2 noktaları için 0,1 (°C) sıcaklık farkı kullanılır (Usul, 2017)

Q_n : Serbest su yüzeyinde kalan net radyasyon miktarı (g·kal/cm²/gün)

γ : Psikrometre sabiti (0,66 mb/ °C)

E_a : Buharın kütle transferinde bulunan buharlaşma (mm/gün)



Şekil 4.2. Doygun buhar basıncı eğrisinin t sıcaklığındaki eğimi

Çizelge 4.1. Yüzey yansıtma katsayısı (Albedo) (Usul, 2008)

Yüzeyin Cinsi	r
Serbest Su Yüzeyi	0,06
Kaya	0,12 - 0,15
Kuru Toprak	0,14
Islak Toprak	0,08 - 0,09
Çayır	0,1 - 0,33
Yeni Yağmış Kar	0,9
Kar (temiz)	0,4
Kar (kirlenmiş)	0,1
Yeşil Bitki Örtüsü	0,2

Çizelge 4.2. Atmosferin üst limitinde aylar ve enlemlere bağlı kısa dalga radyasyonunun Angot değerleri (R_A - g·cal/cm²/gün) (Brunt, 1944)

Enlem	Enlem	O.	Ş.	M.	N.	M.	H.	T.	A.	E.	E.	K.	A.
KUZUY	90	0	0	55	518	903	1077	944	605	136	0	0	0
	80	0	3	143	518	875	1060	930	600	219	17	0	0
	60	86	234	424	687	856	983	892	714	494	258	113	55
	40	358	538	663	847	930	1001	941	843	719	528	397	318
	20	631	795	821	914	912	947	912	887	856	740	666	599
	Ekva.	844	963	878	876	803	803	792	820	891	866	873	829
GÜNEY	20	970	1020	832	737	608	580	588	680	820	892	986	978
	40	998	963	686	515	358	308	333	453	648	817	994	1033
	60	947	802	459	240	95	50	77	187	403	648	920	1013
	80	981	649	181	9	0	0	0	0	113	459	917	1094
	90	995	656	92	0	0	0	0	0	30	447	932	1110

Çizelge 4.3. Enlem ve aylara göre mümkün günışığı saatleri (D-saat) (Criddle, 1958)

K	Tem.	Ağus.	Eyl.	Eki.	Kas.	Ara.	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	May.	Haz.
G	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	May.	Haz.	Tem.	Ağus.	Eyl.	Eki.	Kas.	Ara.
0	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1
10	12,6	12,4	12,2	11,9	11,7	11,5	11,6	11,8	12,0	12,3	12,6	12,7
20	13,2	12,7	12,2	11,7	11,2	10,9	11,0	11,4	12,0	12,6	13,1	13,3
30	13,9	13,1	12,3	11,4	10,6	10,2	10,4	11,0	11,9	12,8	13,6	14,1
40	14,6	13,6	12,4	11,1	9,9	9,3	9,6	10,3	11,8	13,2	14,3	15,0
50	15,9	14,2	12,5	10,6	9,0	8,1	8,5	9,5	11,7	13,6	15,3	16,3
60	18,0	15,3	12,7	10,0	7,4	5,9	6,6	8,7	11,5	14,3	17,0	18,7
70	24,0	17,6	13,2	8,8	3,6	0	0	6,7	11,3	15,2	21,3	24,0
80	24,0	24,0	14,6	4,2	0	0	0	0	11,2	20,2	24,0	24,0
90	24,0	24,0	24,0	0	0	0	0	0	0	24,0	24,0	24,0

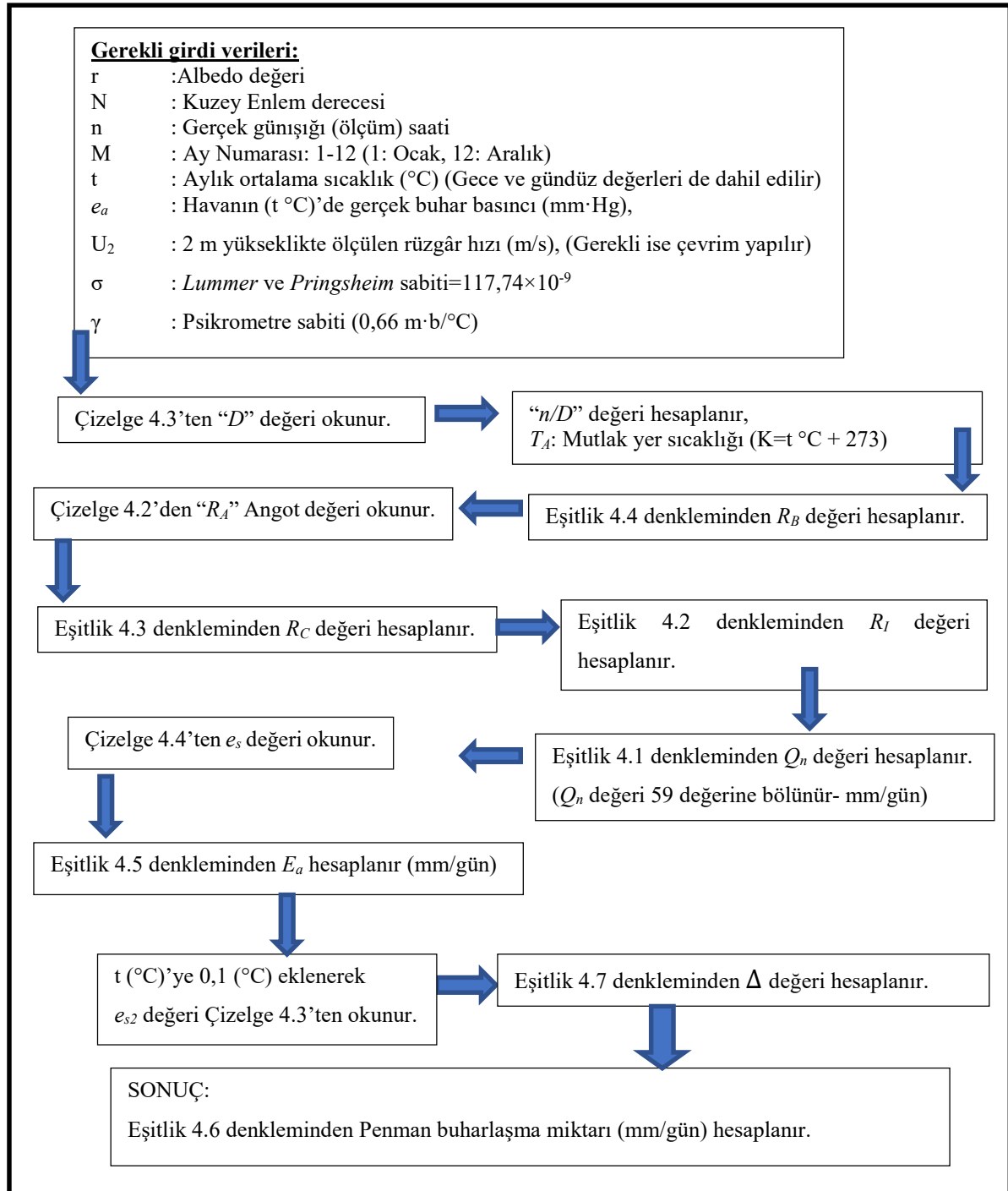
Çizelgede K: Kuzey enlem dereceleri, G: Güney enlem dereceleri.

Çizelge 4.4. Farklı sıcaklıklar için mm Hg (1 mm·Hg=1.33 mb) cinsinden doymuş buhar basıncı (Wilson, 1974)

t(°C)	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	t(°C)
-9*	2.32	2.30	2.29	2.27	2.26	2.24	2.22	2.21	2.19	2.17	-9*
-8	2.51	2.49	2.47	2.45	2.43	2.41	2.41	2.40	2.38	2.34	-8
-7	2.71	2.69	2.67	2.65	2.63	2.61	2.59	2.57	2.55	2.53	-7
-6	2.93	2.91	2.89	2.86	2.84	2.82	2.80	2.77	2.75	2.73	-6
-5	3.16	3.14	3.11	3.09	3.06	3.04	3.01	2.99	2.97	2.95	-5
-4	3.41	3.39	3.37	3.34	3.32	3.29	3.27	3.24	3.22	3.18	-4
-3	3.64	3.64	3.62	3.59	3.57	3.54	3.52	3.49	3.46	3.44	-3
-2	3.97	3.94	3.91	3.88	3.85	3.82	3.79	3.76	3.73	3.70	-2
-1	4.26	4.23	4.20	4.17	4.14	4.11	3.08	4.05	4.03	4.00	-1
-0	4.58	4.55	4.52	4.49	4.46	4.41	4.40	4.36	4.33	4.29	-0
0	4.58	4.62	4.65	4.69	4.71	4.75	4.78	4.82	4.86	4.89	0
1	4.92	4.96	5.00	5.03	5.07	5.11	5.14	5.18	5.21	5.24	1
2	5.29	5.33	5.37	5.40	5.44	5.48	5.53	5.57	5.60	5.64	2
3	5.68	5.72	5.76	5.80	5.84	5.89	5.93	5.97	6.01	6.06	3
4	6.10	6.14	6.18	6.23	6.27	6.31	6.36	6.40	6.45	6.49	4
5	6.54	6.58	6.63	6.68	6.72	6.77	6.82	6.86	6.91	6.96	5
6	7.01	7.06	7.11	7.16	7.20	7.25	7.31	7.36	7.41	7.46	6
7	7.51	7.56	7.61	7.67	7.72	7.77	7.82	7.88	7.93	7.98	7
8	8.04	8.10	8.15	8.21	8.26	8.32	8.37	8.43	8.48	8.54	8
9	8.61	8.67	8.73	8.78	8.84	8.90	8.96	9.02	9.08	9.14	9
10	9.20	9.26	9.33	9.39	9.46	9.52	9.58	9.65	9.71	9.77	10
11	9.84	9.90	9.97	10.0	10.1	10.1	10.2	10.3	10.3	10.4	11
12	10.5	10.5	10.6	10.7	10.7	10.8	10.9	11.0	11.0	11.1	12
13	11.2	11.3	11.3	11.4	11.5	11.6	11.6	11.7	11.8	11.9	13
14	11.9	12.0	12.1	12.2	12.3	12.3	12.4	12.5	12.6	12.7	14
15	12.7	12.8	12.9	13.0	13.1	13.2	13.2	13.3	13.4	13.5	15
16	13.6	13.7	13.8	13.9	13.9	14.0	14.1	14.2	14.3	14.3	16
17	14.5	14.6	14.7	14.8	14.9	14.9	15.0	15.1	15.2	15.3	17
18	15.4	15.5	15.6	15.7	15.8	15.9	16.0	16.1	16.2	16.3	18
19	16.4	16.5	16.6	16.7	16.9	17.0	17.1	17.2	17.3	17.4	19
20	17.5	17.6	17.7	17.8	17.9	18.0	18.2	18.3	18.4	18.5	20
21	18.6	18.7	18.8	19.0	19.1	19.2	19.3	19.4	19.5	19.7	21
22	19.8	19.9	20.0	20.1	20.3	20.4	20.5	20.6	20.8	20.9	22
23	21.0	21.1	21.3	21.4	21.5	21.7	21.8	21.9	22.1	22.3	23
24	22.2	22.5	22.6	22.7	22.9	23.0	23.1	23.3	23.4	23.6	24
25	23.7	23.9	24.0	24.2	24.3	24.4	24.6	24.7	24.9	25.0	25
26	25.3	25.4	25.6	25.7	25.8	26.0	26.1	26.3	26.4	26.6	26
27	26.7	26.9	27.0	27.2	27.3	27.5	27.6	27.8	28.0	28.1	27
28	28.3	28.4	28.6	28.8	29.0	29.1	29.3	29.5	29.6	29.8	28
29	30.0	30.2	30.3	30.5	30.7	30.9	31.1	31.2	31.4	31.6	29
30	31.8	32.0	32.1	32.3	32.5	32.7	32.9	33.1	33.3	33.5	30
t(°C)	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	t(°C)

4.2.1. Penman yöntemi ile buharlaşma hesaplama akış şeması

Hesaplanacak buharlaşma miktarları için Penman yöntemindeki formüller ve gerekli çizelgeler MS Excel programı içerisinde tanımlanmış ve bir akış dahilinde hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Yapılan hesaplamalar için kullanılan hesap sırası Şekil 4.3'te belirtilen akış şemasında gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Penman yönteminin MS. Excel programı içerisinde uygulama akış şeması

4.3. Tava Katsayısının Belirlenmesi

Buharlaşıma tavaşı ile ölçülen buharlaşma miktarları, büyük bir su kütesinden (hazne, göl, baraj vb.) oluşan gerçek buharlaşma miktarına göre daha yüksek değerdedir. Bu durumun sebebi metal sınırlara sahip tavanın güneş radyasyonundan etkilenerek içerisindeki suya doğal süreçten daha fazla ısı kaynağı sağlamasıdır. Ayrıca tüm şartlar aynı olsa dahi net buharlaşma miktarı ile buharlaşacak su kütesinin büyüklüğü arasında ters orantılı bir ilişki mevcuttur. Yani büyük bir su kütesinden buharlaşma oranı küçük bir su kütesinden buharlaşma oranına göre daha düşük değerdedir. Bu sebeple buharlaşma tavaşı ile yapılan ölçümler için düzeltme katsayısı kullanılmaktadır.

Serbest su yüzeyinden buharlaşma ve tava ölçümlerine dair bilinen ilk çalışmalardan biri L.G. Carpenter (Carpenter, 1898) tarafından Colorado'nun Fort Collis bölgesinde yapılmıştır. Carpenter çalışmasında geceleri neredeyse gündüz kadar buharlaşma meydana geldiğini gözlemlemiştir. 11 yıl boyunca gözlemlerini $0,91 \times 0,91$ m ebatlarında toprağa gömülü olan buharlaşma tavaşı ile gerçekleştirmiştir. Ölçümleri sonucunda aylara göre buharlaşmanın farklı olduğunu gözlemlemiştir. Daha sonra 1923-1928 yılları arasında Rohwer iki farklı rezervuar için yaptığı çalışmalarda A Sınıfı buharlaşma tavaşını kullanmış ve iki rezervuar alanı için benzer tava katsayıları (yıllık ortalama 0,66-0,70) hesaplamıştır (Rohwer, 1931). 1947 yılında ise Young tarafından yapılan çalışmalarda tava katsayısı 12 ay boyunca 0,60 ile 1,10 arasında değerler aldığını ve yıllık ortalama tava katsayısını 0,77 olarak hesaplamıştır (Young, 1947). Kohler 1954 yılında gerçekleştirdiği çalışmalarda yıllık ortalama tava katsayısını 0,69 olarak hesaplamış ve aylara göre rezervuarlarda depolanan enerjiye bağlı olarak tava katsayısının da değişkenlik gösterdiğini ifade etmiştir. Kohler tava katsayısının 0,70 olarak belirlenmesi halinde serbest su yüzeyinden buharlaşmanın %10,00-%15,00 oranında bir doğrulukla tahmin edileceği sonucuna varmıştır. (Kohler, 1954).

Linsley R.K., Kohler M.A. ve Paulhus J.L.H. (1975) tava katsayısının 0,7 olarak kullanılmasının uygun olacağını belirtmiş ve bununla birlikte oluşabilecek maksimum farklılıkların %12 mertebesinde kalacağı hesaplanmıştır. Ayrıca tava katsayılarının yıl içerisindeki farklı aylarda göldeki enerji depolamasına bağlı olarak değişkenlik gösterebileceğini belirlemişlerdir. Bu nedenle aylık tava katsayılarının değerlendirilmesi gerektiğini önermektedirler (Hydrology For Engineer, 1975)

Dünya Meteoroloji Örgütü, tava katsayısının nemli mevsim ve iklimler için 0,80 veya üzerinde, kurak mevsim ve iklimler için ise 0,60 ve altında değerler alabileceğini ifade etmektedir. Ortalama tava katsayısının ise 0,70 olarak belirtmektedir (WMO, 2008).

Türkiye için tava katsayısı yılın tüm ayları için sabit kabul edilmekte olup bu değer MGM ve DSİ tarafından 0,70 olarak kabul edilmiştir. Tava katsayısının değişim sınırları 0,60-0,80 arasında olduğu öngörülmektedir. Tava katsayısının 0,70 kabul edilmesi durumunda hata payının %15'in altında olduğu düşünülür (Keskin, Şorman, & Terzi, 2005).

5. BULGULAR

Bu bölümde, Türkiye'nin farklı bölgelerinde yer alan istasyonlarından "A Sınıfı" buharlaşma tavaşı ile ölçülen aylık buharlaşma rasat değerleri ve bir önceki bölümde metodolojik ayrıntıları belirtilen Penman yöntemi ile hesaplanan aylık buharlaşma miktarlarının mukayeseleri yapılmıştır. Elde edilen bulgulara göre hesaplanan tava katsayıları bölüm içerisinde yer almaktadır.

Amasya, Ankara, Bursa, Denizli, Edirne, Elazığ, İzmir, Karaman, Kayseri, Mardin ve Trabzon DMİ verileri dikkate alınarak yapılan buharlaşma hesaplarına yer verilmiştir. Belirlenen çalışma alanları için 11 yıllık ölçümlere ait ortalama buharlaşma miktarları ile hesaplanan buharlaşma miktarları karşılaştırılmıştır.

Penman yöntemi ile buharlaşma miktarı hesaplanırken ortalama sıcaklık, ortalama rüzgâr hızı, ortalama nispi nem, güneşlenme müddeti verileri meteoroloji istasyonlarından yapılan rasatlardan elde edilmiştir. Ortalama sıcaklığa bağlı olarak doygun buhar basıncı sıcaklık-basınç grafiğinden elde edilmiştir. Yüzey yansıtma katsayısı (albedo) serbest su yüzeyi için literatürde önerilen 0,06 değeri kabul edilmiştir.

Karşılaştırmalı analizlerin bir bütün içerisinde yapılabilmesi amacıyla Meteoroloji İstasyonlarından yapılan rasatlarda "A Sınıfı" buharlaşma tavaşı ile eksiksiz rasatları yapılan Nisan-Ekim dönemindeki aylar için Penman yöntemiyle buharlaşma miktarları hesaplanmıştır. Penman ile günlük olarak hesaplanan buharlaşma miktarları ay içerisindeki gün sayıları dikkate alınarak aylık buharlaşma miktarlarına çevrilmiştir.

Serbest su yüzeyinden buharlaşma miktarının belirlenmesi için meteoroloji istasyonlarından "A Sınıfı" buharlaşma tavaşı rasatları ve Penman yöntemiyle hesaplanan aylık ortalama buharlaşma miktarları karşılaştırılmıştır. Yapılan kıyaslamalar sonucunda her ay için tava katsayıları hesaplanmıştır. Hesaplanan tava katsayıları her meteoroloji istasyonu için ilerleyen başlıklarda verilmiştir.

5.1. Tava Katsayıları

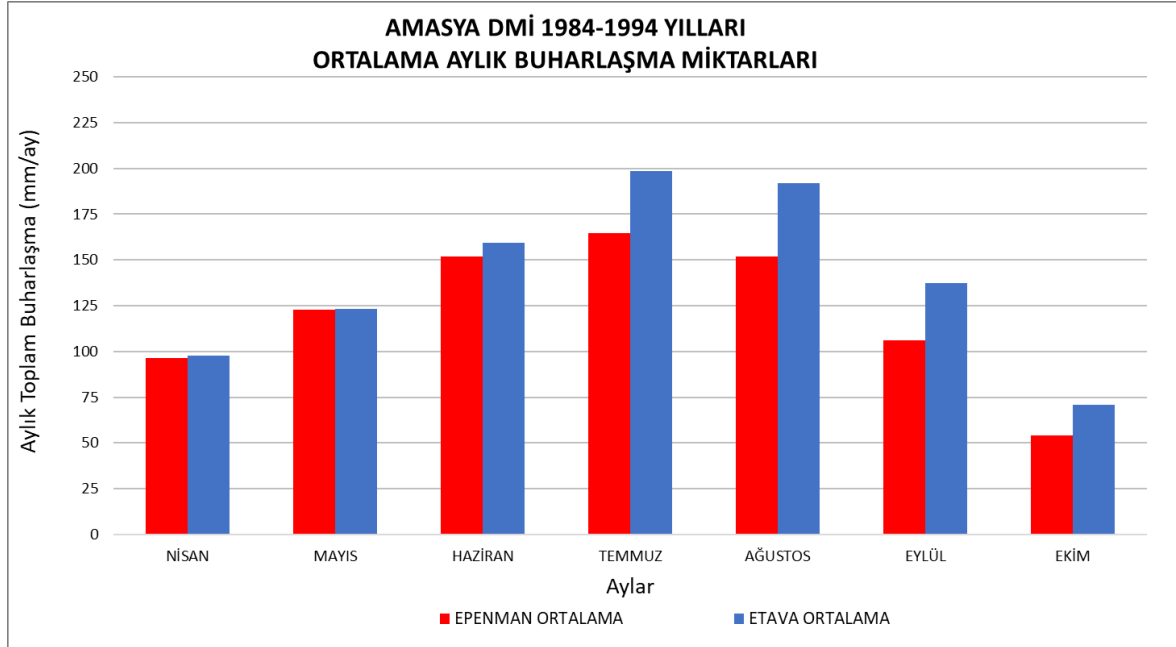
5.1.1. Amasya DMİ

Amasya DMİ 40° 39' - 35° 51' enlem-boylamında ve 412 m rakımında yer almaktadır. İstasyonda “A Sınıfı” buharlaşma tavaşı kullanılarak elde edilen rasatlardan yararlanılarak aylık toplam buharlaşma değerleri belirlenerek 1984-1994 yılları için aylık listeler oluşturulmuştur. 1984-1994 yılları arasında yine istasyon rasatlarından temin edilen ortalama sıcaklık, ortalama rüzgâr hızı, ortalama nispi nem, güneşlenme müddeti verileri kullanılmış, Penman yöntemi ile günlük ve aylık buharlaşma değerleri hesaplanmıştır. Burada 1984 yılı meteorolojik verileri kullanılarak hesaplanan buharlaşma miktarlarına ait detaylar Çizelge 5.1’de yer almaktadır.

Çizelge 5.1. Amasya DMİ-1984 yılı için Penman yöntemi ile hesaplanan buharlaşma miktarları

1984								
AMASYA - 1984		NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM
R _a	-	0,68	0,60	0,58	0,61	0,59	0,59	0,61
U ₂	m/s	2,10	2,00	2,20	2,40	3,10	2,10	1,90
T	°C	11,50	18,10	21,10	22,80	20,40	21,60	14,80
T	K	284,50	291,10	294,10	295,80	293,40	294,60	287,80
e _w	mmHg	10,11	15,26	18,30	20,26	17,55	18,86	12,45
e _a	mmHg	6,89	9,16	10,65	12,34	10,32	11,05	7,62
σ	g.kal/cm ² /gün	1,174E-07	1,174E-07	1,174E-07	1,174E-07	1,174E-07	1,174E-07	1,174E-07
n	saat	4,59	8,10	8,58	7,73	8,22	9,02	7,04
D	saat	13,16	14,28	15,04	14,58	13,47	12,38	11,08
R _A	g.kal/cm ² /gün	843,88	928,75	1000,65	940,04	840,48	714,61	522,74
r	-	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
R _c	g.kal/cm ² /gün	310,16	438,52	474,03	427,21	414,27	392,93	264,02
R _l	g.kal/cm ² /gün	291,55	412,21	445,59	401,57	389,41	369,36	248,17
R _B	g.kal/cm ² /gün	98,76	130,58	126,04	111,94	133,30	148,21	146,91
Q _n	mm/gün	3,27	4,77	5,42	4,91	4,34	3,75	1,72
E _a	mm/gün	1,84	3,38	4,52	4,98	5,50	4,47	2,58
Δ	mb/°C	0,86	1,24	1,46	1,60	1,41	1,50	1,03
γ	mb/°C	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66
E _{PENMAN}	mm/gün	2,65	4,29	5,14	4,93	4,71	3,97	2,05
t	gün	30,00	31,00	30,00	31,00	31,00	30,00	31,00
E _{PENMAN}	mm/ay	79,48	132,93	154,11	152,81	146,06	119,02	63,65

Amasya DMİ 1984-1994 yılları, Nisan-Ekim ayları verileri kullanılarak “A Sınıfı” buharlaşma tavaşı üzerinden ölçülen ve Penman yöntemi kullanılarak hesaplanan buharlaşma miktarlarının ortalaması Şekil 5.1’de yer almaktadır.

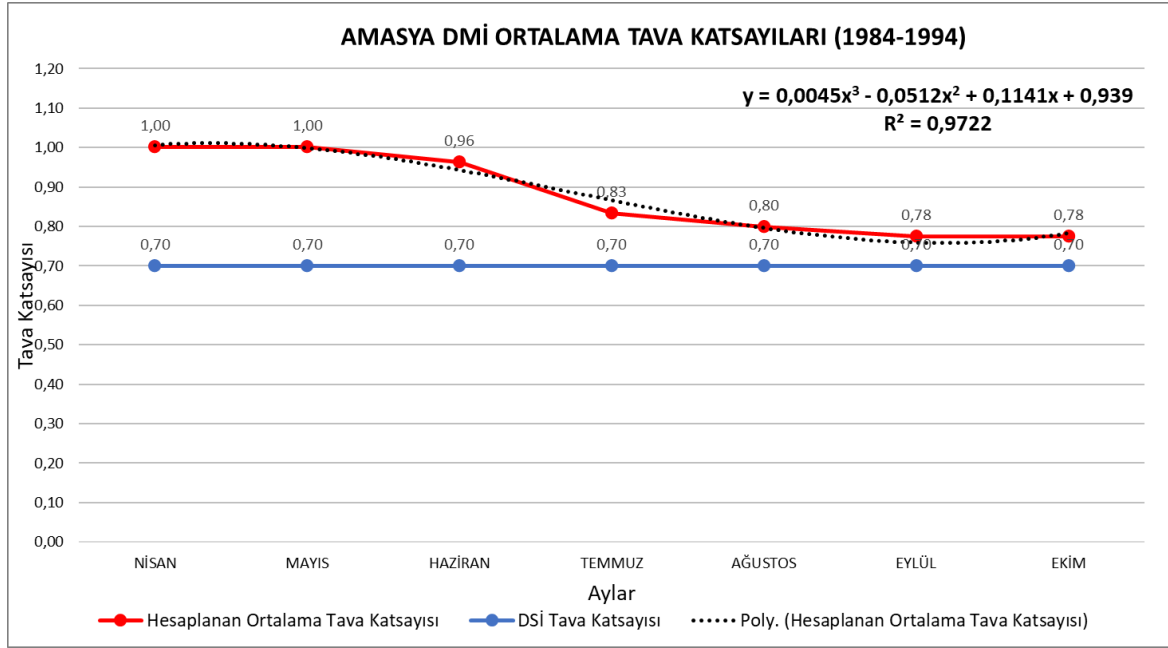


Şekil 5.1. Amasya DMİ-1984-1994 yılları arası ölçülen ve hesaplanan ortalama buharlaşma miktarları

Amasya DMİ 1984-1994 yılları, Nisan-Ekim ayları verileri kullanılarak ölçülen ve hesaplanan buharlaşma miktarları incelendiğinde;

- Nisan ve Mayıs ayları için tava ile ölçüm yapılan buharlaşma miktarlarının Penman yöntemi ile hesaplanan buharlaşma miktarlarına göre %1,02 yüksek olduğu,
- En kurak dönemlerde yapılan tava ölçümlerinin Penman hesaplama yöntemine göre yüksek buharlaşma değerlerinin (Temmuz-%17,1, Ağustos-%20,8, Eylül-%22,8, Ekim-%23,3) kaydedildiği görülmektedir.

Amasya DMİ 1984-1994 yılları arasındaki 11 yıllık meteorolojik veriler dikkate alınarak hesaplanan aylık tava katsayıları Şekil 5.2’de gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Amasya DMİ-1984-1994 yılları arası hesaplanan aylık ortalama tava katsayıları

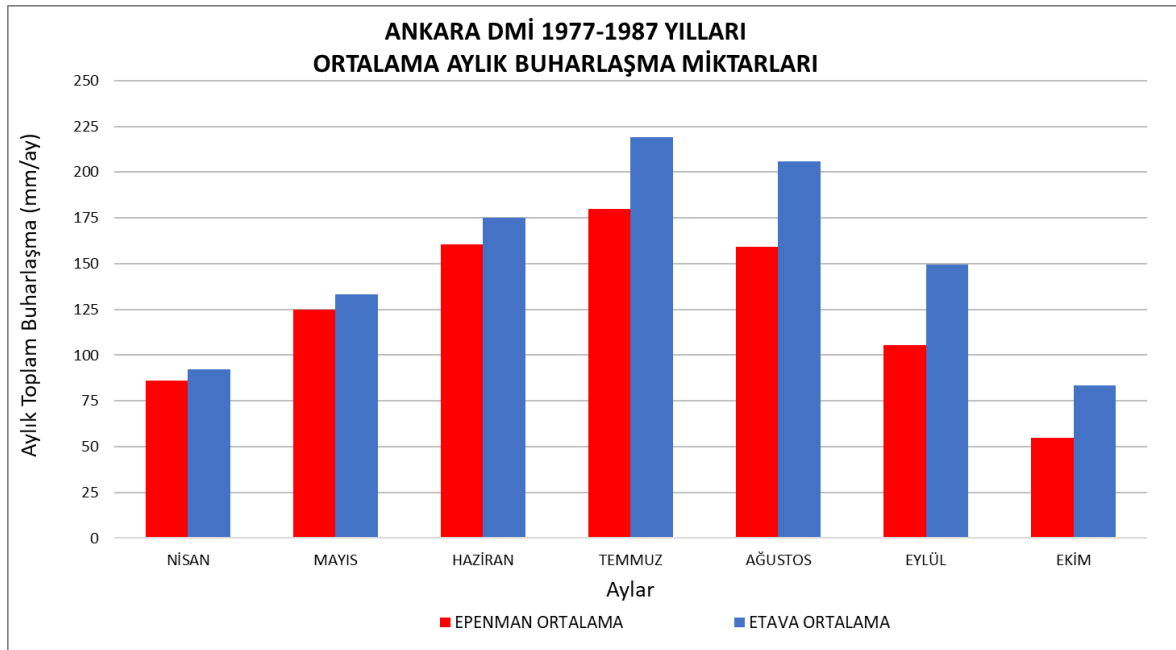
Şekil 5.2’de hesaplanan tava katsayısının sabit olmayıp her ay için farklı değerler aldığı görülmektedir. Nisan-Ekim periyodu boyunca tava katsayısı lineer olmayan bir azalan eğilim ($R^2=0,9722$) göstererek 1,00’den 0,78’e düşmektedir. Amasya ilinin incelenen periyod aralığında ortalama tava katsayısı 0,88 olmaktadır.

Amasya ilinin karasallık derecesi Sezer formülüne göre % 24,52’dir (Sezer, 1990). Buna göre sahada denizelliğin etkisi az da olsa hissedilmektedir. Amasya’da yıllık ortalama bağıl nem % 60 civarındadır. Bağıl nemin aylara göre dağılışı incelendiğinde, kış aylarında yükseldiği (maksimum aralık ayında % 70,5), yazın düştüğü (minimum temmuz ayında % 52,4) görülür (MGM, 2021). Nemli bölgelerde tava katsayısının 0,80 ve üzerinde olabileceği göz önüne alındığında Amasya ilininin ortalama tava katsayısı değerinin 0,88 olarak hesaplanması olağan bir sonuç olarak değerlendirilmektedir.

5.1.2. Ankara DMİ

Ankara DMİ 39° 58' - 32° 52' enlem-boylamında ve 891 m kotunda yer almaktadır. İstasyonun “A Sınıfı” buharlaşma tavaşı değerlerinden oluşturulmuş olan aylık toplam buharlaşma rasatları 1977-1987 yılları arasında yapılmıştır. Penman yöntemi ile 1977-1987 yılları arasında istasyon rasatlarından temin edilen ortalama sıcaklık, ortalama rüzgâr hızı, ortalama nispi nem, güneşlenme müddeti verileri kullanılarak günlük ve aylık buharlaşma verileri hesaplanmıştır.

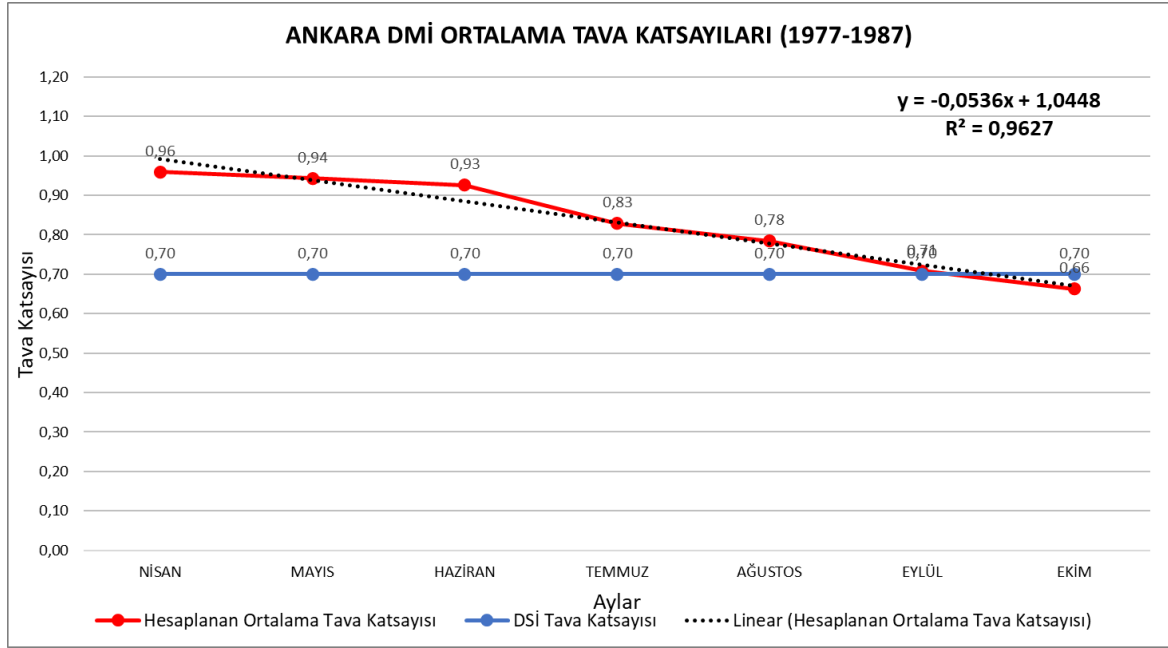
Ankara DMİ 1977-1987 yılları, Nisan-Ekim ayları verileri kullanılarak “A Sınıfı” buharlaşma tavaşı üzerinden ölçülen ve Penman yöntemi kullanılarak hesaplanan buharlaşma miktarlarının ortalaması Şekil 5.3'te yer almaktadır.



Şekil 5.3. Ankara DMİ 1977-1987 yılları arası ölçülen ve hesaplanan ortalama buharlaşma miktarları

Ankara DMİ 1977-1987 yılları, Nisan-Ekim ayları verileri kullanılarak ölçülen ve hesaplanan buharlaşma miktarları incelendiğinde; Nisan-Ekim ayları için ölçülen buharlaşma miktarlarının, hesaplanan buharlaşma miktarlarından ortalama %17,93 oranında yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Ankara DMİ 1977-1987 yılları arasındaki 11 yıllık meteorolojik verileri kullanılarak hesaplanan tava katsayıları Şekil 5.4'te yer almaktadır.



Şekil 5.4. Ankara DMİ 1977-1987 yılları arası hesaplanan ortalama tava katsayıları

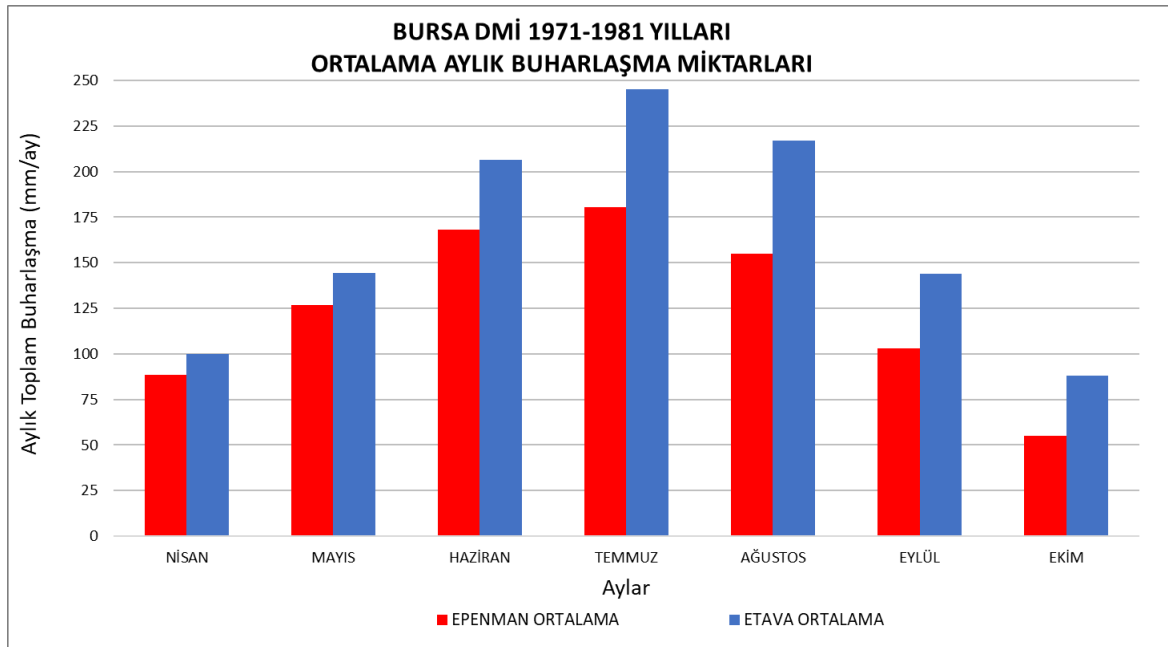
Şekil 5.4'te hesaplanan tava katsayısının sabit olmayıp her ay için farklı değerler aldığı görülmektedir. Ayrıca Nisan-Ekim periyodu boyunca tava katsayısı değerlerinin lineer azalma eğilimi ($R^2=0,9627$) gösterdiği görülmektedir. Hesaplanan tava katsayısının Eylül ayına kadar DSİ tarafından belirlenen 0,7 katsayısının üzerinde değerler aldığı, Eylül ayından sonra ise 0,7'nin altında değer aldığı gözlemlenmiştir. Ankara ilinin çalışma yapılan dönem aralığında ortalama tava katsayısı ise 0,83 olarak hesaplanmıştır.

Ankara DMİ 1977-1987 yılları arasındaki veriler ve Şekil 5.4'te elde edilen sonuçlar incelendiğinde Eylül-Ekim aylarında tava katsayısının diğer aylara göre daha düşük olmasının bir nedeninin güneşlenme müddeti (bulutluluk durumu) ve aylık ortalama sıcaklık farklarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Diğer bir neden ise serbest su yüzeyinden buharlaşma gerçekleşen göldeki depolanan enerji miktarlarıdır. Kış şartlarından bahar aylarına (Nisan-Mayıs) geçişte düşük seviyede olan gölde depolanan enerji miktarı, yaz aylarına doğru artış göstereceğinden buharlaşma miktarlarında da yükselmelerin olması beklenir. Bu nedenle benzer bulutluluk durumuna sahip Nisan ve Ekim aylarındaki buharlaşma miktarındaki farkların nedeni depolanan enerji miktarları ile açıklanabilir.

5.1.3. Bursa DMİ

Bursa DMİ 40° 14' - 29° 01' enlem-boylamında ve 101 m kotunda yer almaktadır. İstasyonun “A Sınıfı” buharlaşma tavaşı değerlerinden oluşturulmuş olan aylık toplam buharlaşma rasatları 1971-1981 yılları arasında yapılmıştır. Penman yöntemi ile aynı yıllar arasında istasyon rasatlarından temin edilen veriler kullanılarak günlük ve aylık buharlaşma verileri hesaplanmıştır.

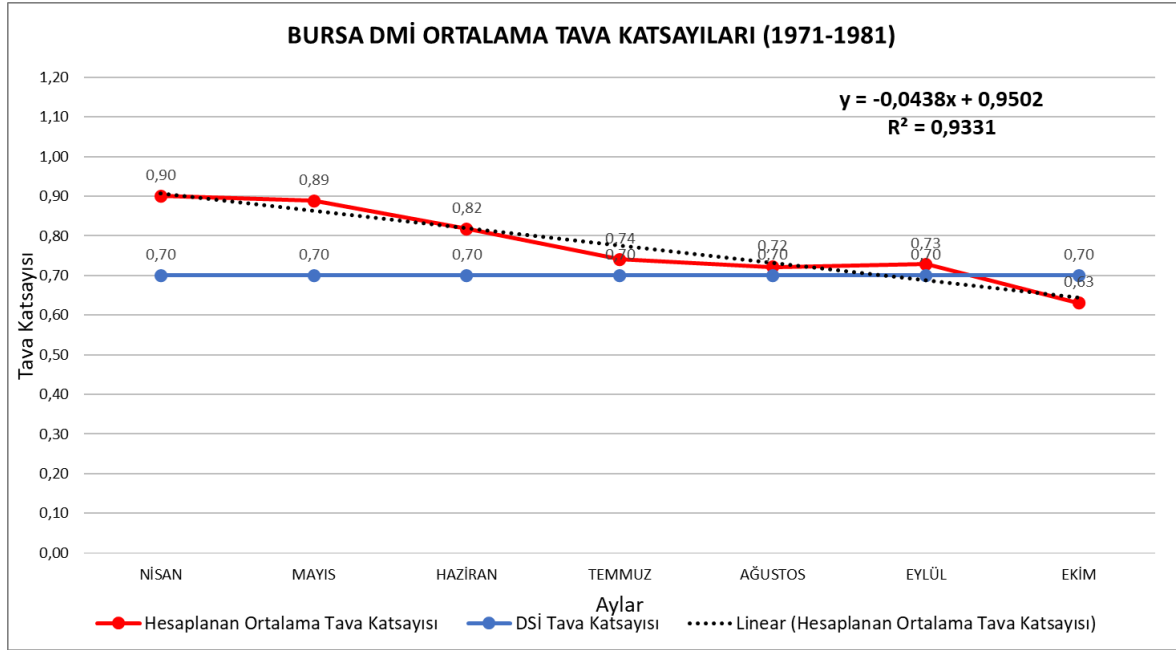
Bursa DMİ 1971-1981 yılları, Nisan-Ekim ayları verileri kullanılarak “A Sınıfı” buharlaşma tavaşı üzerinden ölçülen ve Penman yöntemi kullanılarak hesaplanan buharlaşma miktarlarının ortalaması Şekil 5.5’te yer almaktadır.



Şekil 5.5. Bursa DMİ 1971-1981 yılları arası ölçülen ve hesaplanan ortalama buharlaşma miktarları

Bursa DMİ 1971-1981 yılları, Nisan-Ekim ayları verileri kullanılarak ölçülen ve hesaplanan buharlaşma miktarları incelendiğinde; Nisan-Ekim ayları için ölçülen buharlaşma miktarlarının, hesaplanan buharlaşma miktarlarından belirgin şekilde (%23,33) yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Bursa DMİ 1971-1981 yılları arasındaki 11 yıllık meteorolojik verileri kullanılarak hesaplanan tava katsayıları Şekil 5.6’da yer almaktadır.



Şekil 5.6. Bursa DMİ 1971-1981 yılları arası hesaplanan ortalama tava katsayıları

Şekil 5.6’da hesaplanan tava katsayıları sabit olmayıp her ay için farklı değerler aldığı görülmektedir. Ayrıca Nisan-Ekim periyodu boyunca tava katsayısı değerlerinin lineer azalış eğilimi ($R^2=0,9331$) gösterdiği görülmektedir. Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında hesaplanan tava katsayılarının, DSİ tarafından belirlenen 0,7 katsayısına oldukça yakın değerler olarak 0,73-0,72 aralığında olduğu gözlemlenmiştir. Azalış eğiliminde Ekim ayında hesaplanan tava katsayısının 0,7 katsayısının altına düşerek 0,63 olarak hesaplanmıştır.

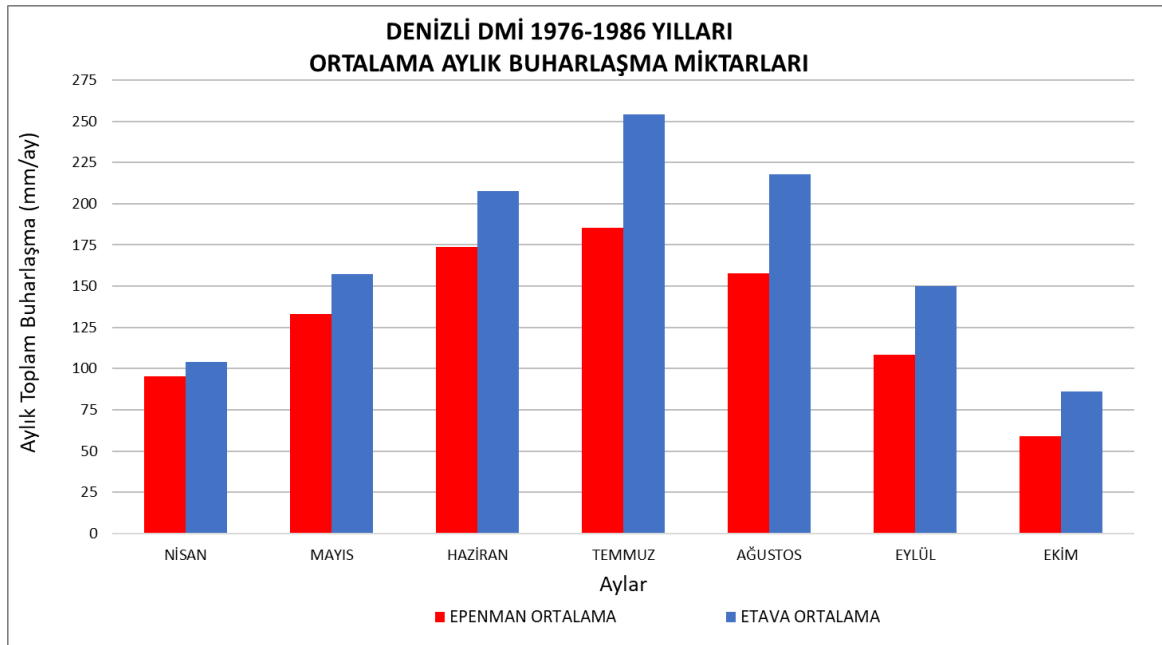
Nisan ve Mayıs aylarında sıcaklığın ve güneşlenme müddetinin az olması nedeniyle (bulutluluk durumu) buharlaşma tavaasının metal çevresi güneş radyasyonundan daha az etkilenecek, içerisindeki suya doğal süreçten daha fazla ısı kaynağı sağlamasını engellemektedir. Bu durum buharlaşma tavaası rasatları ile hesaplanan buharlaşma miktarı arasındaki farkı azaltarak tava katsayısını 1’e yakınlıştırmaktadır. Buharlaşma tavaasının yaz aylarına doğru daha fazla güneş radyasyonundan etkilenmesi ile tava katsayısı daha düşük değerler almaktadır.

Çalışma dönemi boyunca tava katsayılarının ortalaması ise 0,78 olarak elde edilmiştir. Türkiye için tava katsayısının değişim sınırları 0,60-0,80 arasında olduğu öngörüldüğü göz önüne alındığında Bursa ili için hesaplanan ortalama tava katsayısının hata payının %15’in altında olduğu düşünülebilir.

5.1.4. Denizli DMİ

Denizli DMİ 37° 47' - 29° 05' enlem-boylamında ve 425 m kotunda yer almaktadır. İstasyonun “A Sınıfı” buharlaşma tavaası değerlerinden oluşturulmuş olan aylık toplam buharlaşma rasatları 1976-1986 yılları arasında yapılmıştır. Penman yöntemi ile aynı yıllar arasında istasyon rasatlarından temin edilen veriler kullanılarak günlük ve aylık buharlaşma verileri hesaplanmıştır.

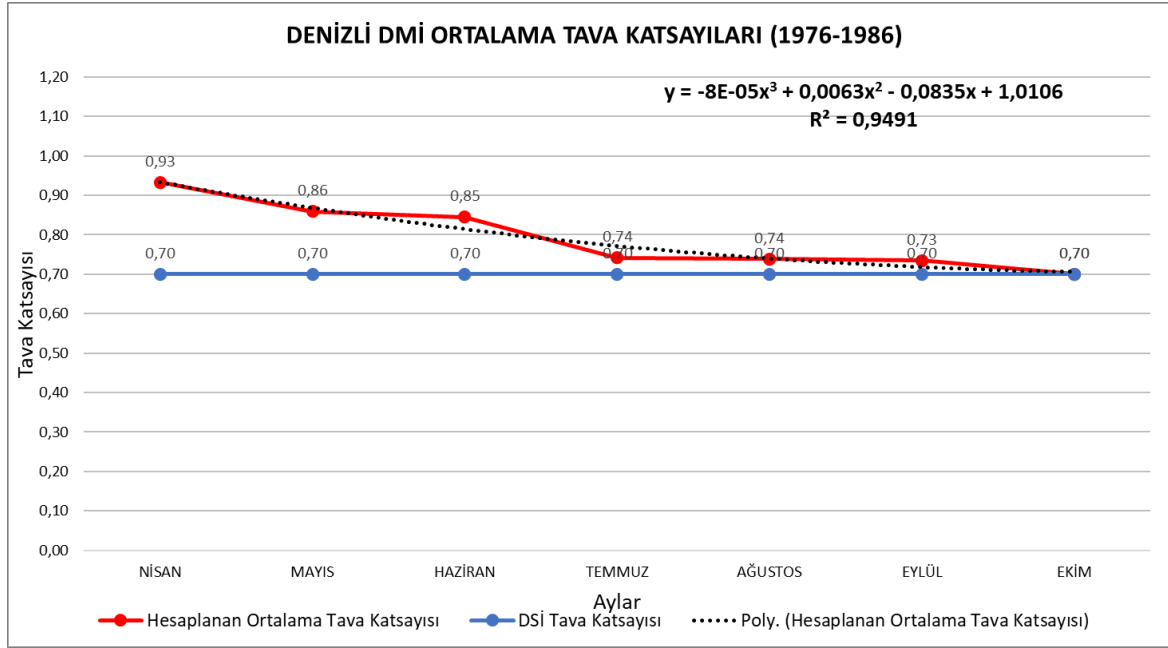
Denizli DMİ 1976-1986 yılları, Nisan-Ekim ayları verileri kullanılarak “A Sınıfı” buharlaşma tavaası üzerinden ölçülen ve Penman yöntemi kullanılarak hesaplanan buharlaşma miktarlarının ortalaması Şekil 5.7’de yer almaktadır.



Şekil 5.7. Denizli DMİ 1976-1986 yılları arası ölçülen ve hesaplanan ortalama buharlaşma miktarları

Denizli DMİ 1976-1986 yılları, Nisan-Ekim ayları verileri kullanılarak ölçülen ve hesaplanan buharlaşma miktarları incelendiğinde; Nisan-Ekim ayları için ölçülen buharlaşma miktarlarının, hesaplanan buharlaşma miktarlarından yaklaşık %22,07 oranında fazla olduğu gözlemlenmiştir.

Denizli DMİ 1976-1986 yılları arasındaki 11 yıllık meteorolojik verileri kullanılarak hesaplanan tava katsayıları Şekil 5.8’de verilmektedir.



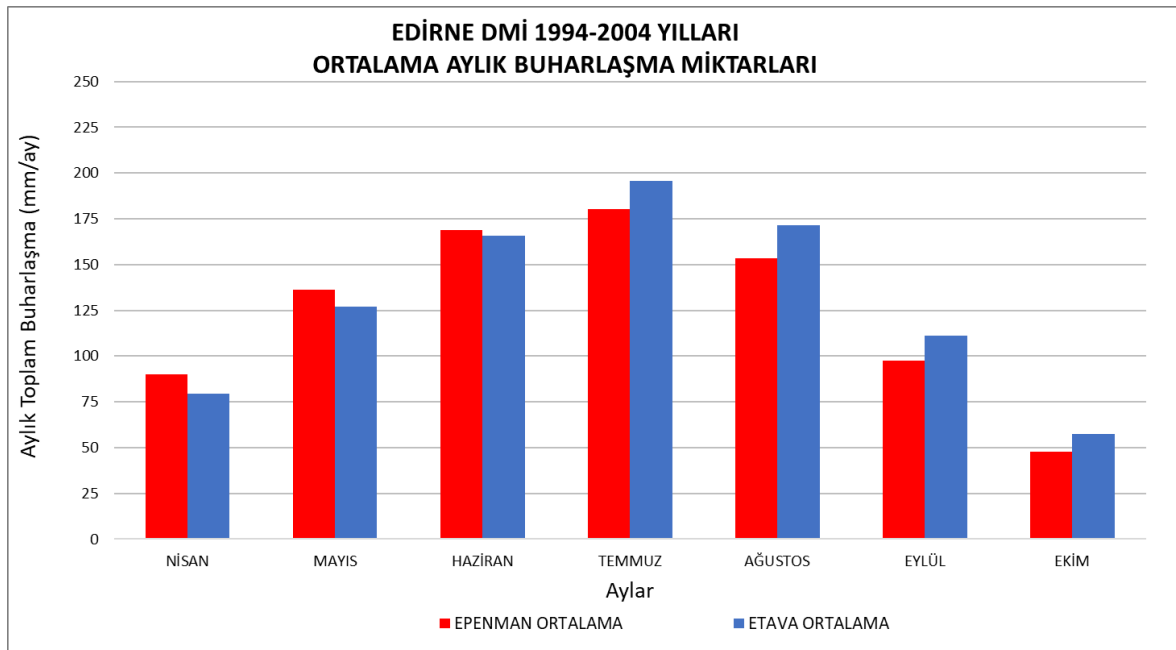
Şekil 5.8. Denizli DMİ 1976-1986 yılları arası hesaplanan ortalama tava katsayıları

Şekil 5.8’de hesaplanan tava katsayısının Nisan-Ekim periyodu boyunca lineer olmayan eğilim ($R^2=0,9491$) göstererek 0,93’ten 0,70’e düşmektedir. Nisan, Mayıs ve Haziran aylarında tava katsayısı 0,93-0,85 arasında değerler alırken, Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim aylarında 0,74-0,70 değerlerini almaktadır.

Denizli ili için ortalama tava katsayısı 0,79 olmaktadır. Türkiye için tava katsayısının değişim sınırları 0,60-0,80 arasında olduğu öngörüldüğü göz önüne alındığında Denizli ili için hesaplanan ortalama tava katsayısının hata payının %15’in altında olduğu düşünülebilmektedir.

5.1.5. Edirne DMİ

Edirne DMİ 41° 40' - 26° 34' enlem-boylamında ve 51 m kotunda yer almaktadır. İstasyonun “A Sınıfı” buharlaşma tavaşı değerlerinden oluşturulmuş olan aylık toplam buharlaşma rasatları 1994-2004 yılları arasında yapılmıştır. Penman yöntemi ile aynı yıllar arasında istasyon rasatlarından temin edilen veriler kullanılarak günlük ve aylık buharlaşma verileri hesaplanmıştır. Edirne DMİ 1994-2004 yılları, Nisan-Ekim ayları verileri kullanılarak “A Sınıfı” buharlaşma tavaşı üzerinden ölçülen ve Penman yöntemi kullanılarak hesaplanan buharlaşma miktarlarının ortalaması Şekil 5.9’da yer almaktadır.

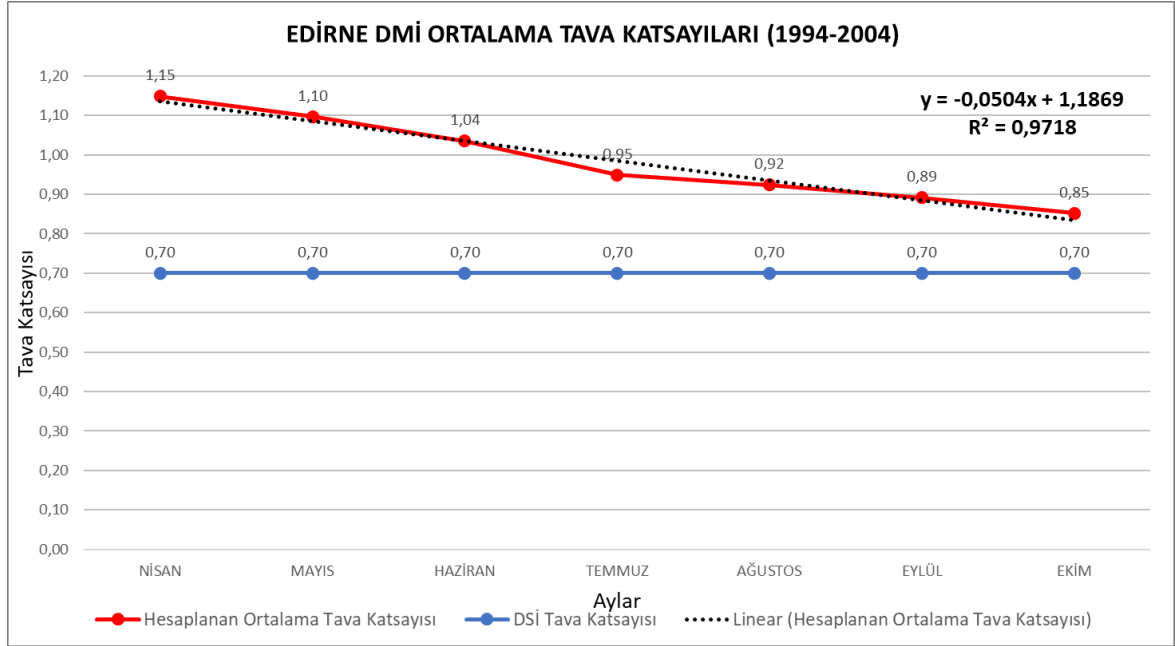


Şekil 5.9. Edirne DMİ 1994-2004 yılları arası ölçülen ve hesaplanan ortalama buharlaşma miktarları

Edirne DMİ 1994-2004 yılları, Nisan-Ekim ayları verileri kullanılarak ölçülen ve hesaplanan buharlaşma miktarları incelendiğinde;

- Nisan ve Mayıs ayları için ölçülen buharlaşma miktarlarının, Penman formülü ile hesaplanan buharlaşma miktarlarından %6,98 daha düşük,
- Haziran ayı için ölçülen buharlaşma miktarlarının, hesaplanan buharlaşma miktarından %1,69 yüksek,
- Temmuz-Ekim ayları için ise ölçülen buharlaşma miktarlarının, hesaplanan buharlaşma miktarlarından ortalama %13,66 daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

Edirne DMI 1994-2004 yılları arasındaki 11 yıllık meteorolojik verileri kullanılarak hesaplanan tava katsayıları Şekil 5.10'da yer almaktadır.



Şekil 5.10. Edirne DMI 1994-2004 yılları arası hesaplanan ortalama tava katsayıları

Şekil 5.10'da hesaplanan tava katsayısının Nisan-Ekim periyodu boyunca lineer ($R^2=0,9718$) azalış eğilimi göstermektedir. Tüm periyod boyunca tava katsayısı 0,80'in üzerinde değerler almaktadır. Edirne DMI'nin rakımının 51 m, nispi nem ortalamasının ise %6,23 olması göz önüne alındığında tava katsayısının 0,80 üzerinde hesaplanması beklenen bir durumdur. Ayrıca Nisan, Mayıs ve Haziran ayları için hesaplanan tava katsayılarının 1'den büyük olduğu görülmektedir. Bu durum hesaplanan buharlaşma miktarının, ölçülen buharlaşma miktarından daha fazla olduğunu ifade etmektedir. Bu durumun açıklığa kavuşturulması için istasyona ait meteorolojik verilerin değerlendirilmesi amacıyla Çizelge 5.2 ve Çizelge 5.3 hazırlanmıştır. Bu çizelgeler incelendiğinde Nisan, Mayıs ve Haziran aylarındaki ortalama sıcaklık değerleri karşılaştırılırsa İzmir DMI'deki ortalama sıcaklık değerlerinin sırasıyla %19,2, %13,4, %12,8 oranında daha yüksek sıcaklıklara sahip olduğu görülmektedir. İki istasyonun tava katsayılarındaki durumda bu eğilme benzerdir.

Şekil 5.10'da verilen tava katsayılarındaki azalma trendi ile Çizelge 5.2'de verilen rüzgâr verilerindeki eğilim oldukça tutarlıdır. Aynı durum sıcaklık, güneşlenme müddeti ve nispi nem için söylenemez. Bu nedenle Edirne DMI'de Nisan ayından Ekim ayına kadar tava katsayısındaki kararlı azalma eğilimi rüzgâr ile birlikte uyumlu bir davranış içerisinde

olduğu söylenebilir Temmuz ayındaki rüzgardaki yükselme aynı şekilde buharlaşma eğiliminde de görülmektedir.

Çizelge 5.2. Edirne DMİ-1994-2004 yılları arası meteorolojik veriler tablosu

	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim
Sıcaklık (°C)	12,75	18,62	23,15	25,50	24,66	19,91	14,40
Güneşlenme Müddeti (saat)	6,30	8,20	10,27	10,82	10,12	7,85	4,55
Nispi Nem (%)	0,67	0,62	0,58	0,55	0,57	0,64	0,72
Rüzgâr (m/s)	1,98	1,70	1,65	1,75	1,65	1,60	1,52

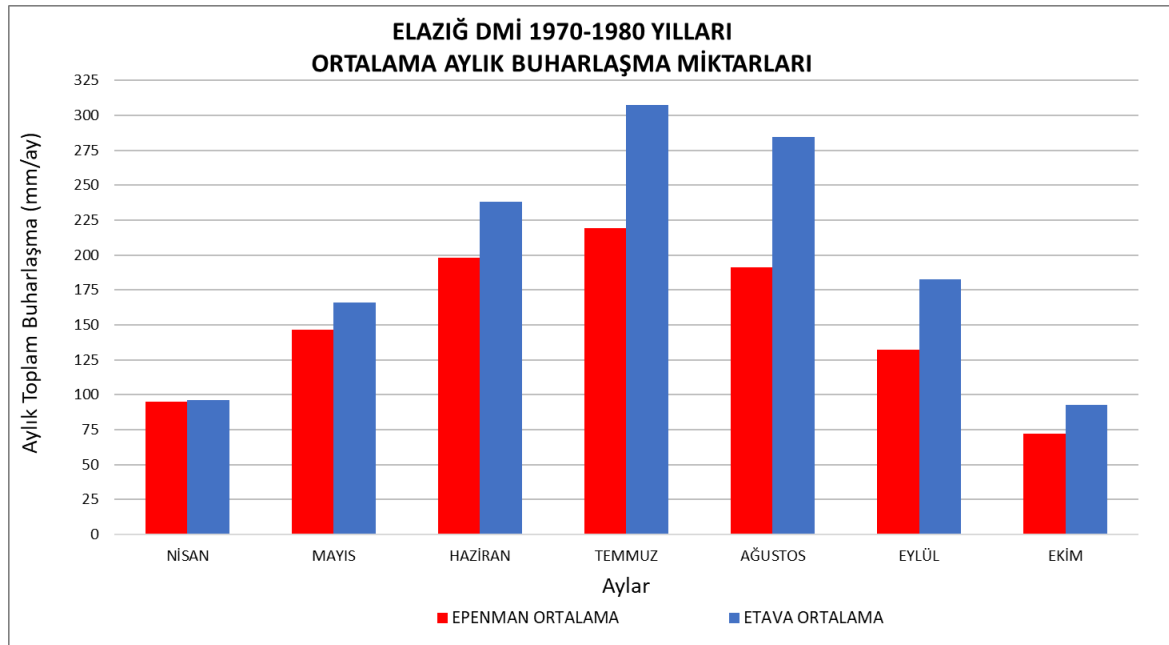
Çizelge 5.3. İzmir DMİ-1994-2004 yılları arası meteorolojik veriler tablosu

	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim
Sıcaklık (°C)	15,77	21,51	26,55	28,85	28,15	23,89	19,36
Güneşlenme Müddeti (saat)	7,00	9,20	11,41	12,21	11,27	9,73	7,27
Nispi Nem (%)	0,65	0,64	0,60	0,52	0,52	0,55	0,60
Rüzgâr (m/s)	2,95	3,12	3,45	3,55	3,39	3,04	2,76

5.1.6. Elazığ DMİ

Elazığ DMİ $38^{\circ} 39'$ - $39^{\circ} 15'$ enlem-boylamında ve 990 m kotunda yer almaktadır. İstasyonun “A Sınıfı” buharlaşma tavaası değerlerinden oluşturulmuş olan aylık toplam buharlaşma rasatları 1970-1980 yılları arasında yapılmıştır. Penman yöntemi ile aynı yıllar arasında istasyon rasatlarından temin edilen veriler kullanılarak günlük ve aylık buharlaşma verileri hesaplanmıştır.

Elazığ DMİ 1970-1980 yılları, Nisan-Ekim ayları verileri kullanılarak “A Sınıfı” buharlaşma tavaası üzerinden ölçülen ve Penman yöntemi kullanılarak hesaplanan buharlaşma miktarlarının ortalaması Şekil 5.11’de yer almaktadır.

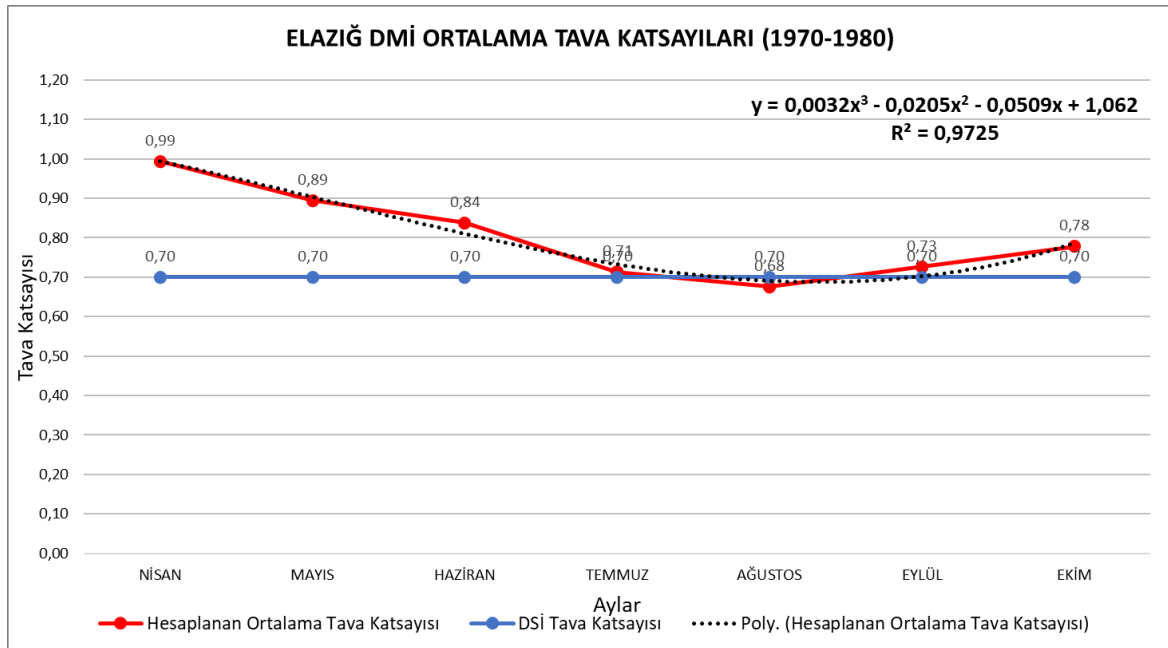


Şekil 5.11. Elazığ DMİ 1970-1980 yılları arası ölçülen ve hesaplanan ortalama buharlaşma miktarları

Elazığ DMİ 1970-1980 yılları, Nisan-Ekim ayları verileri kullanılarak ölçülen ve hesaplanan buharlaşma miktarları incelendiğinde;

- Nisan ayı için ölçülen buharlaşma miktarının, hesaplanan buharlaşma miktarından %1,36 kadar daha düşük olduğu,
- Mayıs-Ekim ayları için ise ölçülen buharlaşma miktarlarının, hesaplanan buharlaşma miktarlarından %23,37 kadar yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Elazığ DMI 1970-1980 yılları arasındaki 11 yıllık meteorolojik verileri kullanılarak hesaplanan tava katsayıları Şekil 5.12’de yer almaktadır.



Şekil 5.12. Elazığ DMI 1970-1980 yılları arası hesaplanan ortalama tava katsayıları

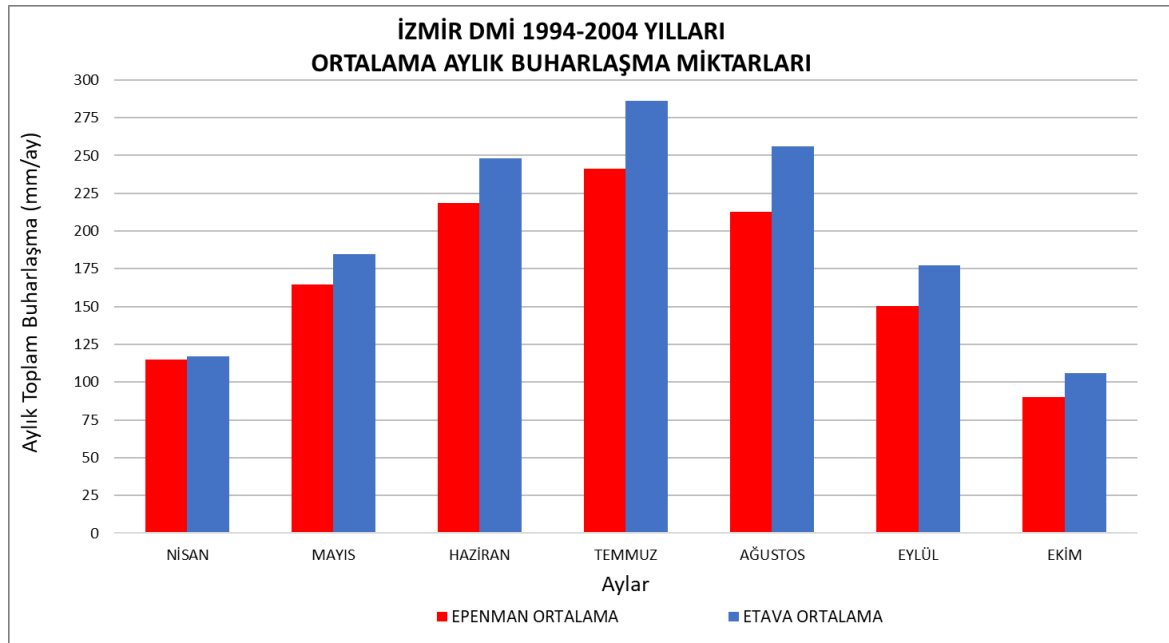
Şekil 5.12’de hesaplanan tava katsayısının Nisan-Ağustos periyodu boyunca azalış, Ağustos- Ekim periyodu boyunca ise artış göstererek lineer olmayan eğilim ($R^2=0,9725$) oluşturduğu görülmektedir. Nisan-Ağustos aylarında hesaplanan tava katsayısının 0,99 ile başlayıp 0,68’e kadar düştüğü, Ağustos-Ekim aylarında ise 0,68 ile 0,78 değerlerini alarak yükselişe geçtiği gözlemlenmiştir.

Elazığ ilinde karasal iklimin etkileri göz önüne alındığında sert geçen kış mevsiminden sonra ilkbahar aylarında (Nisan ve Mayıs) hava sıcaklığının ve güneşlenme müddetinin düşük olması sebebiyle buharlaşma tavasını elde edilen rasatlar hesaplanan buharlaşma miktarı ile yakın değerler alıp tava katsayısının 1’e yakın değerler (0,99 ve 0,89) almasına sebep olmaktadır. Yaz aylarına doğru ve yaz ayları boyunca ise kurak mevsimin etkileri (yüksek sıcaklıklar, yüksek güneşlenme müddeti, düşük nispi nem) arttıkça buharlaşma tavasının güneş radyasyonundan daha çok etkilenmesi ile tava katsayısı değeri 1’den uzaklaşmaktadır. Sonbahar aylarında (Eylül ve Ekim) tava katsayısının tekrar artması (0,73-0,78) kurak mevsimin etkilerinin azalması ile buharlaşma oranının da azaldığını ifade etmektedir.

5.1.7. İzmir DMİ

İzmir DMİ 38° 24' - 27° 05' enlem-boylamında ve 29 m kotunda yer almaktadır. İstasyonun “A Sınıfı” buharlaşma tavaası değerlerinden oluşturulmuş olan aylık toplam buharlaşma rasatları 1994-2004 yılları arasında yapılmıştır. Penman yöntemi ile aynı yıllar arasında istasyon rasatlarından temin edilen veriler kullanılarak günlük ve aylık buharlaşma verileri hesaplanmıştır.

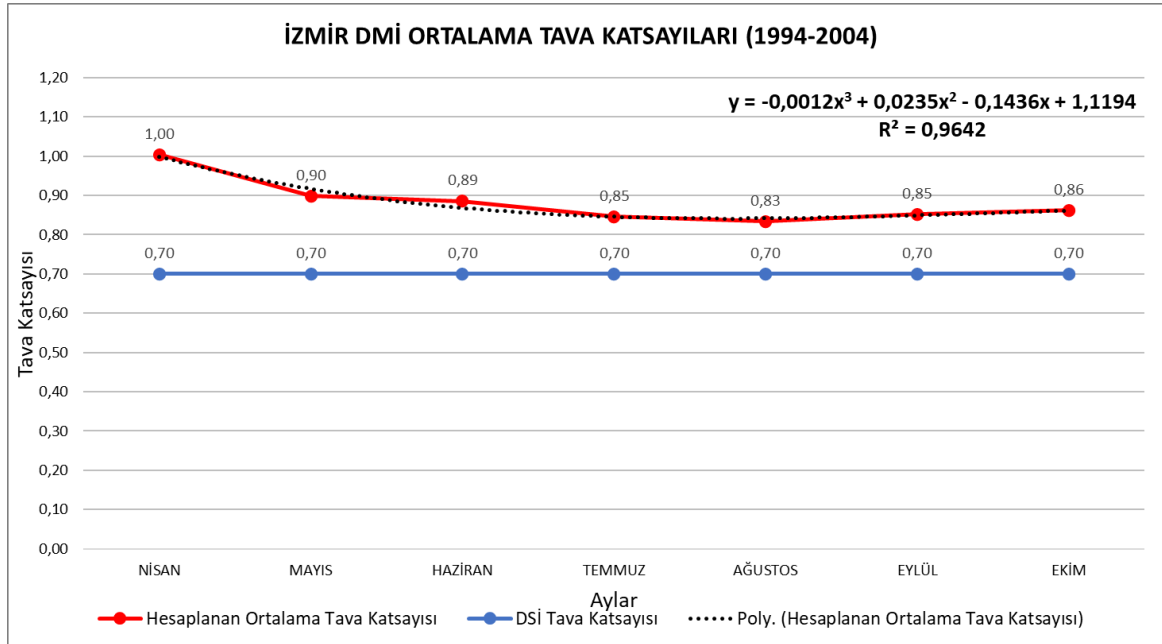
İzmir DMİ 1994-2004 yılları, Nisan-Ekim ayları verileri kullanılarak “A Sınıfı” buharlaşma tavaası üzerinden ölçülen ve Penman yöntemi kullanılarak hesaplanan buharlaşma miktarlarının ortalaması Şekil 5.13’te yer almaktadır.



Şekil 5.13. İzmir DMİ 1994-2004 yılları arası ölçülen ve hesaplanan ortalama buharlaşma miktarları

İzmir DMİ 1994-2004 yılları, Nisan-Ekim ayları verileri kullanılarak ölçülen ve hesaplanan buharlaşma miktarları incelendiğinde; Nisan-Ekim ayları için ölçülen buharlaşma miktarlarının, hesaplanan buharlaşma miktarlarından %12,45 oranında daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

İzmir DMİ 1994-2004 yılları arasındaki 11 yıllık meteorolojik verileri kullanılarak hesaplanan tava katsayıları Şekil 5.14'te yer almaktadır.



Şekil 5.14. İzmir DMİ-1994-2004 yılları arası hesaplanan ortalama tava katsayıları

Şekil 5.14'te hesaplanan tava katsayılarının Nisan-Ağustos periyodu boyunca azalış eğilimi, Ağustos-Ekim ayları arasında ise artış eğilimi göstererek lineer olmayan eğilim ($R^2=0,9642$) oluşturduğu görülmektedir. Nisan-Ekim periyodu boyunca hesaplanan tava katsayısı değerlerinin birbirine yakın değerler aldığı gözlemlenmiştir. Nisan-Ağustos aylarında hesaplanan tava katsayısının 1,00 ile başlayıp 0,83'e düştüğü, Ağustos-Ekim aylarında ise 0,83 ile 0,86 değerlerini alarak arttığı gözlemlenmiştir. Ortalama tava katsayısı ise 0,88 hesaplanmıştır.

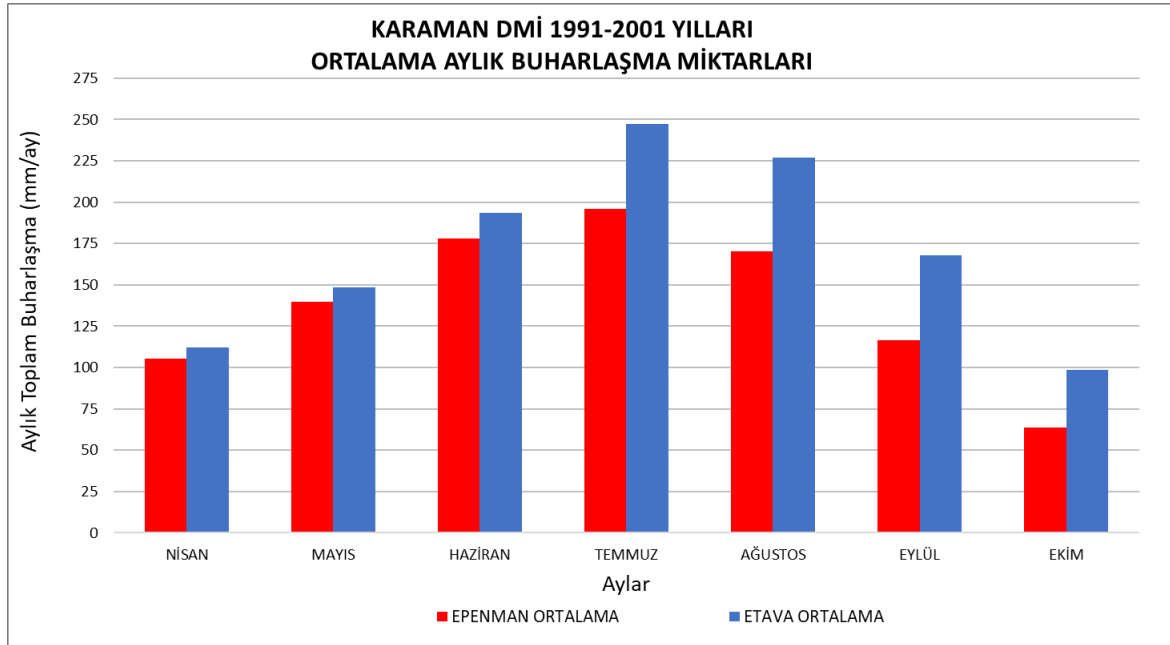
Dağlarla çevrilmiş ve bir körfez etrafında kurulmuş olan İzmir kentinde, havadaki nem oranının yüksek olduğu göz önüne alındığında WMO (2008) tarafından da belirtildiği gibi nemli bölgeler için tava katsayısının 0,80'in üzerinde değerler alabileceği belirlenmiştir.

Nemli bölgelerde hava sıcaklık farkının fazla olmaması buharlaşma tavalalarının metal çevresinin aşırı ısınmasını engellemektedir. Bu durum buharlaşma tavasında okunan ölçümler ile hesaplanan buharlaşma miktarlarının farkını azaltarak tava katsayısının 1,00 değerine yaklaşmasından sebep olacağı düşünülmektedir.

5.1.8. Karaman DMİ

Karaman DMİ 37° 11' - 33° 13' enlem-boylamında ve 1024 m kotunda yer almaktadır. İstasyonun “A Sınıfı” buharlaşma tavaşı değerlerinden oluşturulmuş olan aylık toplam buharlaşma rasatları 1991-2001 yılları arasında yapılmıştır. Penman yöntemi ile aynı yıllar arasında istasyon rasatlarından temin edilen veriler kullanılarak günlük ve aylık buharlaşma verileri hesaplanmıştır.

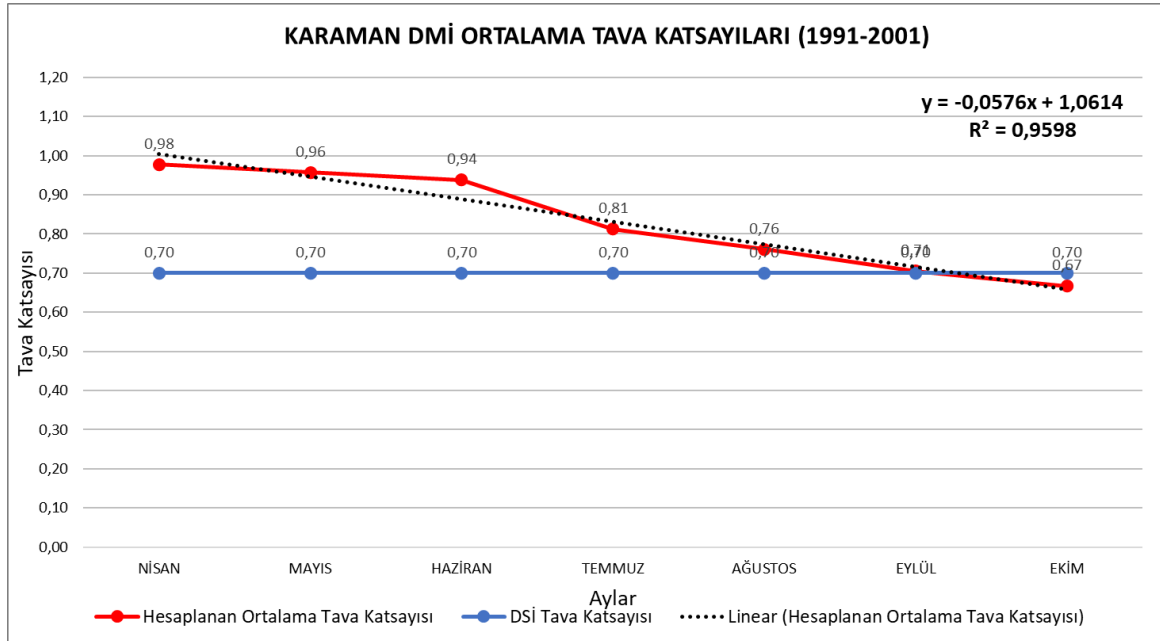
Karaman DMİ 1991-2001 yılları, Nisan-Ekim ayları verileri kullanılarak “A Sınıfı” buharlaşma tavaşı üzerinden ölçülen ve Penman yöntemi kullanılarak hesaplanan buharlaşma miktarlarının ortalaması Şekil 5.15’te yer almaktadır.



Şekil 5.15. Karaman DMİ 1991-2001 yılları arası ölçülen ve hesaplanan ortalama buharlaşma miktarları

Karaman DMİ 1991-2001 yılları, Nisan-Ekim ayları verileri kullanılarak ölçülen ve hesaplanan buharlaşma miktarları incelendiğinde; Nisan-Ekim ayları için ölçülen buharlaşma miktarlarının, hesaplanan buharlaşma miktarlarından ortalama %18,83 oranında fazla olduğu gözlemlenmiştir. Özellikle Temmuz ayından itibaren buharlaşma tavaşı ile ölçülen buharlaşma miktarı, hesaplanan buharlaşma miktarından %35,36 oranına kadar fazla olabilmektedir.

Karaman DMİ 1991-2001 yılları arasındaki 11 yıllık meteorolojik verileri kullanılarak hesaplanan tava katsayıları Şekil 5.16'da yer almaktadır.



Şekil 5.16. Karaman DMİ 1991-2001 yılları arası hesaplanan ortalama tava katsayıları

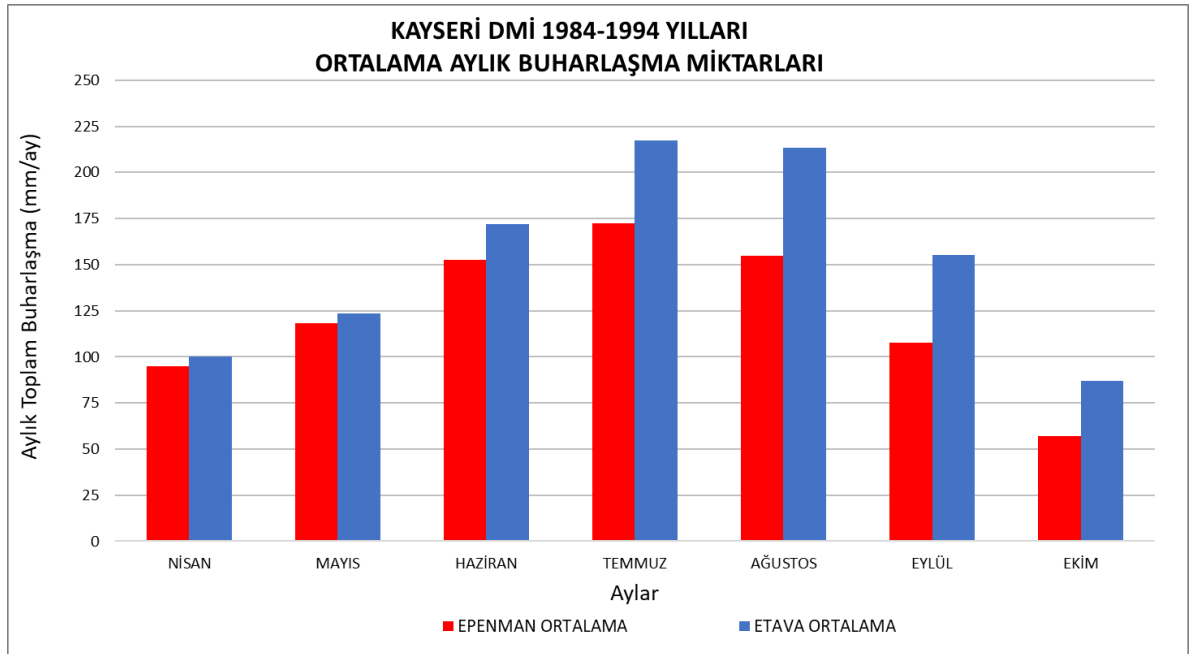
Şekil 5.16'da hesaplanan tava katsayılarının Nisan-Ekim periyodu boyunca lineer azalma eğilimi ($R^2=0,9598$) gösterdiği görülmektedir. Nisan ayında 0,98 olan tava katsayısının Ekim ayında 0,67 değerini aldığı gözlemlenmiştir. Bu nedenle Nisan-Ekim periyodu boyunca hesaplanan tava katsayısı değerleri arasındaki farkın oldukça fazla olduğu görülmüştür. Ortalama tava katsayısı ise 0,83 olarak hesaplanmıştır.

İlkbahar aylarında (Nisan ve Mayıs) sıcaklığın ve güneşlenme müddetinin az olması ile buharlaşma tavaasının metal çevresi güneş radyasyonundan daha az etkilenecek, içerisindeki suya doğal süreçten daha fazla ısı kaynağı sağlamamaktadır. Bu durum buharlaşma tavaası rasatları ile hesaplanan buharlaşma miktarı arasındaki farkı azaltarak tava katsayısını 1'e yakınlaştırmaktadır. Buharlaşma tavaasının yaz aylarına doğru daha fazla güneş radyasyonundan etkilenmesi ile tava katsayısı azalmaktadır.

5.1.9. Kayseri DMİ

Kayseri DMİ $38^{\circ} 45'$ - $35^{\circ} 29'$ enlem-boylamında ve 1093 m kotunda yer almaktadır. İstasyonun “A Sınıfı” buharlaşma tavaası değerlerinden oluşturulmuş olan aylık toplam buharlaşma rasatları 1984-1994 yılları arasında yapılmıştır. Penman yöntemi ile aynı yıllar arasında istasyon rasatlarından temin edilen veriler kullanılarak günlük ve aylık buharlaşma verileri hesaplanmıştır.

Kayseri DMİ 1984-1994 yılları, Nisan-Ekim ayları verileri kullanılarak “A Sınıfı” buharlaşma tavaası üzerinden ölçülen ve Penman yöntemi kullanılarak hesaplanan buharlaşma miktarlarının ortalaması Şekil 5.17’de yer almaktadır.

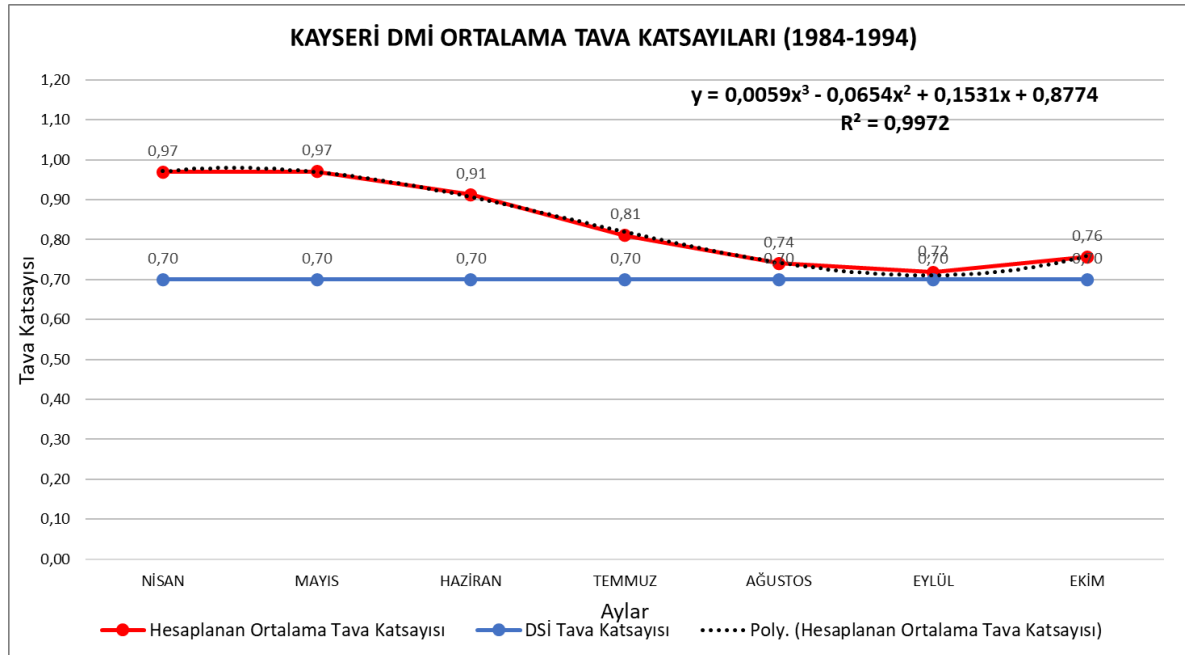


Şekil 5.17. Kayseri DMİ 1984-1994 yılları arası ölçülen ve hesaplanan ortalama buharlaşma miktarları

Kayseri DMİ 1984-1994 yılları, Nisan-Ekim ayları verileri kullanılarak ölçülen ve hesaplanan buharlaşma miktarları incelendiğinde;

- Nisan-Haziran ayları için ölçülen buharlaşma miktarının, hesaplanan buharlaşma miktarından ortalama %6,99 daha yüksek olduğu,
- Temmuz-Ekim ayları için ise ölçülen buharlaşma miktarlarının, hesaplanan buharlaşma miktarlarından %28,36 oranında yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Kayseri ili için hesaplanan tava katsayıları Şekil 5.18’de yer almaktadır.



Şekil 5.18. Kayseri DMİ-1984-1994 yılları arası hesaplanan ortalama tava katsayıları

Şekil 5.18’de hesaplanan tava katsayısının Nisan-Eylül periyodu boyunca azalış, Eylül-Ekim ayları arasında ise artış göstererek lineer olmayan davranış ($R^2=0,9972$) oluşturduğu görülmektedir. Nisan ayında hesaplanan tava katsayısı 0,97 olup Eylül ayında 0,72 değerini, ekim ayında ise artarak 0,76 değerini almaktadır. Kayseri ili için ortalama tava katsayısı ise 0,83 olmaktadır.

İlkbahar aylarında (Nisan ve Mayıs) sıcaklığın ve güneşlenme müddetinin az olması ile buharlaşma tavaasının metal çevresi güneş radyasyonundan daha az etkilenecek, içerisindeki suya doğal süreçten daha fazla ısı kaynağı sağlayamamaktadır. Bu durum buharlaşma tavaası rasatları ile hesaplanan buharlaşma miktarı arasındaki farkı azaltarak tava katsayısını arttırmaktadır. Buharlaşma tavaasının yaz aylarına doğru daha fazla güneş radyasyonundan etkilenmesi ile tava katsayısı değeri azalmaktadır. Ekim ayında ise güneş radyasyonunun etkisinin azalması ile buharlaşma tavaası rasatları, hesaplanan buharlaşma miktarına yaklaşıp tava katsayısı değeri artmaktadır. Kayseri ile Elazığ illeri birlikte değerlendirildiğinde tava katsayısı eğilimlerinin oldukça benzer olduğu görülmektedir. Elazığ ilinde yaz aylarında tava katsayısı değerleri Kayseri iline göre daha düşük bahar aylarında ise daha yüksek hesaplanmıştır. İki ilin Çizelge 5.4 ve Çizelge 5.5’te yer alan meteorolojik verileri incelendiğinde; Elazığ ilinin sıcaklık ve nispi nem oranları Kayseri

iline göre daha karasal iklim özelliklerine sahiptir. Bu duruma Elazığ ilinde karasallığın daha etkili olmasının sebep olduğu söylenebilir.

Çizelge 5.4. Elazığ DMİ-1970-1980 yılları arası meteorolojik veriler tablosu

	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim
Sıcaklık (°C)	11,54	17,38	22,80	27,45	26,63	21,89	14,87
Güneşlenme Müddeti (saat)	6,13	9,36	11,77	12,48	11,84	9,82	6,83
Nispi Nem (%)	0,57	0,46	0,34	0,26	0,28	0,33	0,47
Rüzgar (m/s)	2,07	2,05	2,41	2,41	2,21	1,83	1,61

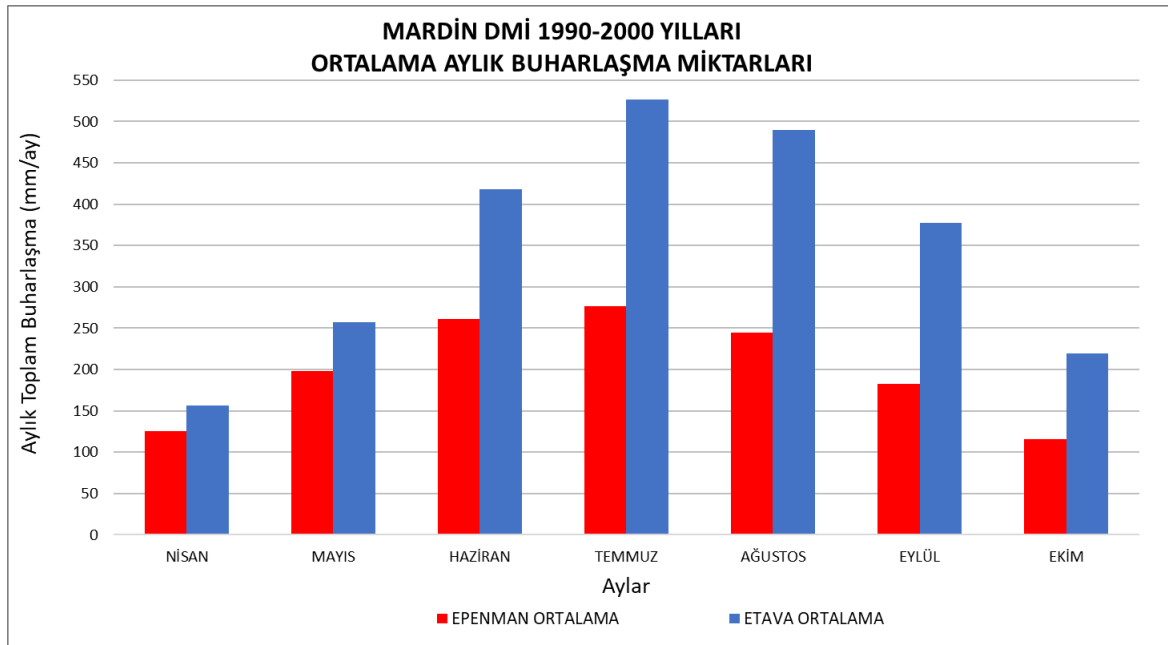
Çizelge 5.5. Kayseri DMİ-1984-1994 yılları arası meteorolojik veriler tablosu

	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim
Sıcaklık (°C)	11,15	14,56	18,57	21,91	21,65	17,36	11,50
Güneşlenme Müddeti (saat)	6,27	7,58	10,16	11,58	11,06	9,03	6,25
Nispi Nem (%)	0,62	0,63	0,59	0,54	0,53	0,54	0,63
Rüzgar (m/s)	2,38	2,12	1,92	1,86	1,77	1,70	1,58

5.1.10. Mardin DMİ

Mardin DMİ 37° 18' - 40° 44' enlem-boylamında ve 1 050 m kotunda yer almaktadır. İstasyonun “A Sınıfı” buharlaşma tavaşı değerlerinden oluşturulmuş olan aylık toplam buharlaşma rasatları 1990-2000 yılları arasında yapılmıştır. Penman yöntemi ile aynı yıllar arasında istasyon rasatlarından temin edilen veriler kullanılarak günlük ve aylık buharlaşma verileri hesaplanmıştır.

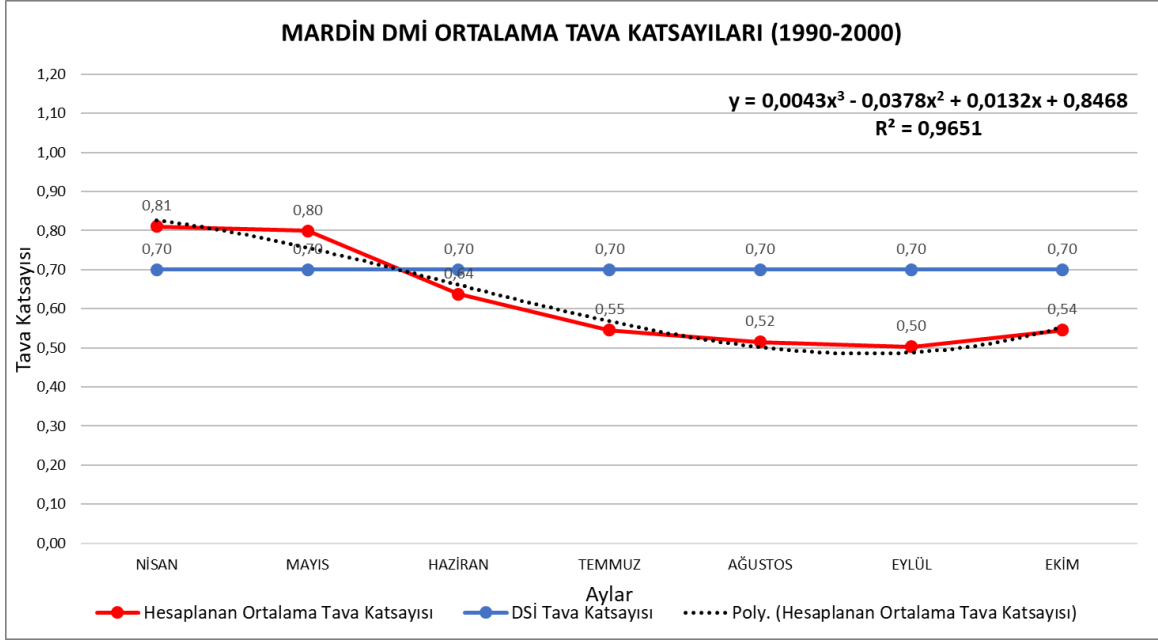
Mardin DMİ 1990-2000 yılları, Nisan-Ekim ayları verileri kullanılarak “A Sınıfı” buharlaşma tavaşı üzerinden ölçülen ve Penman yöntemi kullanılarak hesaplanan buharlaşma miktarlarının ortalaması Şekil 5.19’da yer almaktadır.



Şekil 5.19. Mardin DMİ 1990-2000 yılları arası ölçülen ve hesaplanan ortalama buharlaşma miktarları

Mardin DMİ 1990-2000 yılları, Nisan-Ekim ayları verileri kullanılarak ölçülen ve hesaplanan buharlaşma miktarları incelendiğinde; Nisan-Ekim ayları için ölçülen buharlaşma miktarlarının, hesaplanan buharlaşma miktarlarından ortalama %39,53 oranında yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Mardin DMİ 1990-2000 yılları arasındaki 11 yıllık meteorolojik verileri kullanılarak hesaplanan tava katsayıları Şekil 5.20’de yer almaktadır.



Şekil 5.20. Mardin DMİ-1990-2000 yılları arası hesaplanan ortalama tava katsayıları

Şekil 5.20’da hesaplanan tava katsayılarının Nisan-Eylül periyodu boyunca azalış, Eylül-Ekim ayları arasında ise artış göstererek lineer olmayan eğri ($R^2=0,9651$) oluşturduğu görülmektedir. Nisan ayında hesaplanan tava katsayısı 0,81 olup Eylül ayında 0,50 değerini, ekim ayında ise artarak 0,54 değerini almaktadır. Mardin ili için ortalama tava katsayısı ise 0,62 olarak hesaplanmıştır.

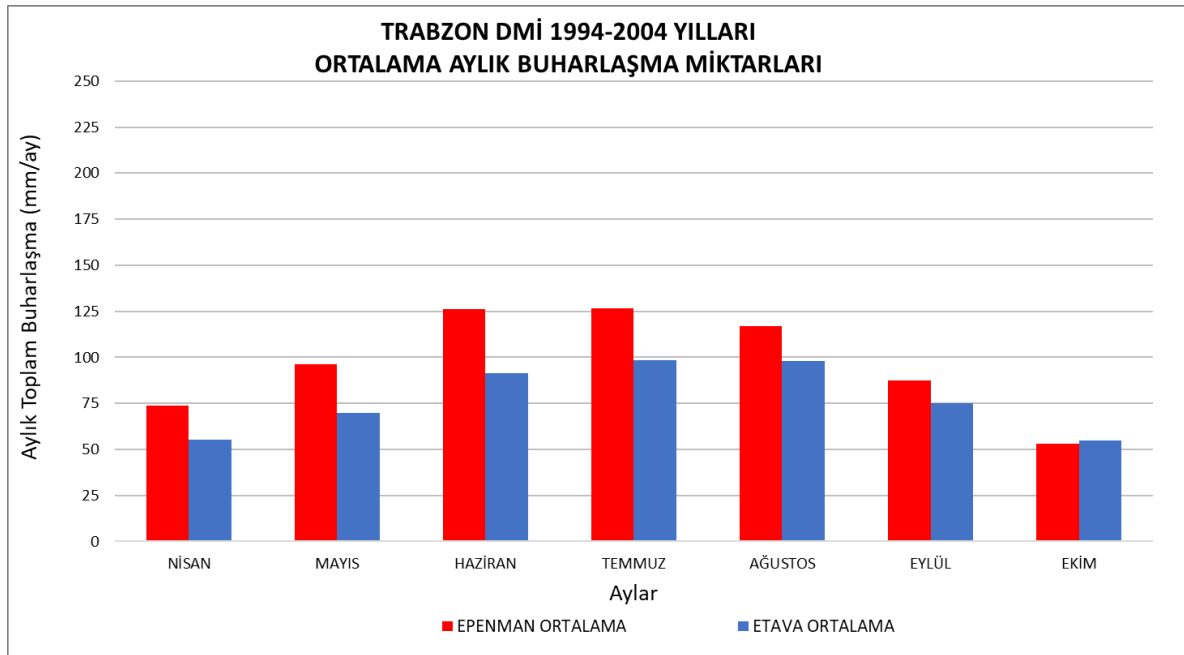
Mardin ilinde yaz aylarında gerçekleşen yüksek sıcaklık, uzun güneşlenme müddeti ve düşük nispi nem sebebiyle buharlaşma tavasında güneş radyasyonunun yarattığı etki daha fazla olup, içerisindeki suya doğal süreçten daha fazla ısı kaynağı sağlamaktadır. Bu durum buharlaşma tavasında gerçekleşen buharlaşma miktarının, hesaplanan buharlaşma miktarından fazla olmasına sebep olup tava katsayısı değerini düşürmektedir.

Dünya Meteoroloji Örgütü, tava katsayısının nemli mevsim ve iklimler için 0,80 veya üzerinde, kurak mevsim ve iklimler için ise 0,60 ve altında değerler alabileceğini ifade etmektedir (WMO, 2008). Mardin ili için ortalama tava katsayısı ise 0,62 olup kurak bölgeler için kabul edilen tava katsayısının değer aralığına yakın sonuçlar vermektedir.

5.1.11. Trabzon DMİ

Trabzon DMİ 41° 00' - 39° 43' enlem-boylamında ve 30 m kotunda yer almaktadır. İstasyonun “A Sınıfı” buharlaşma tavaası değerlerinden oluşturulmuş olan aylık toplam buharlaşma rasatları 1994-2004 yılları arasında yapılmıştır. Penman yöntemi ile aynı yıllar arasında istasyon rasatlarından temin edilen veriler kullanılarak günlük ve aylık buharlaşma verileri hesaplanmıştır.

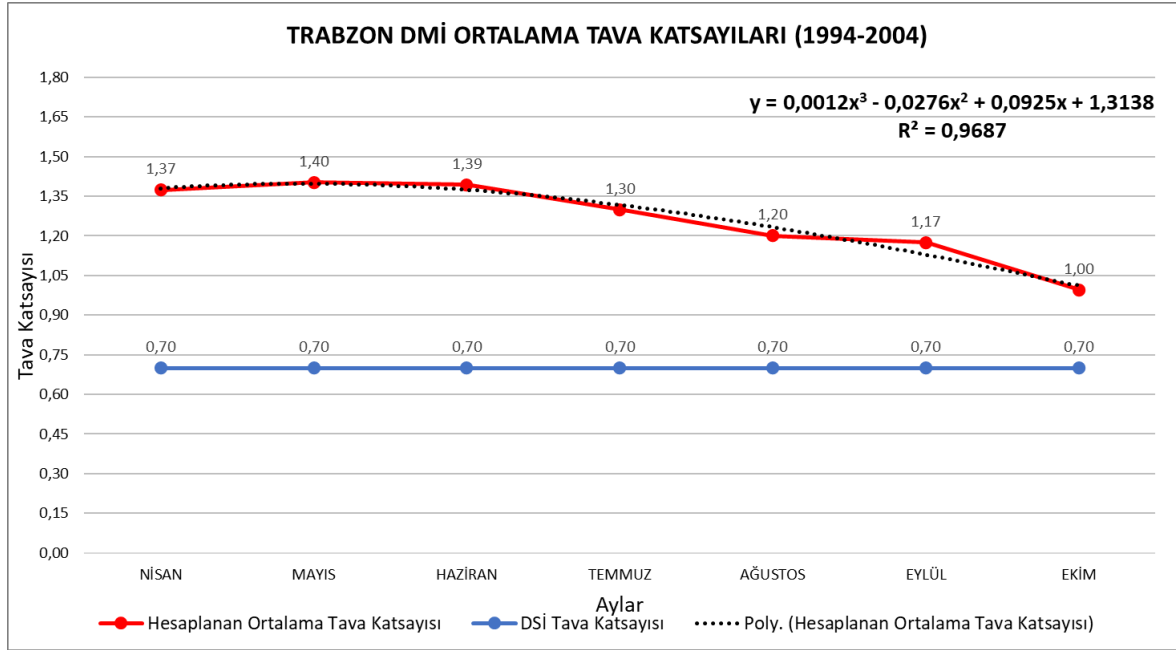
Trabzon DMİ 1994-2004 yılları, Nisan-Ekim ayları verileri kullanılarak “A Sınıfı” buharlaşma tavaası üzerinden ölçülen ve Penman yöntemi kullanılarak hesaplanan buharlaşma miktarlarının ortalaması Şekil 5.21’de yer almaktadır.



Şekil 5.21. Trabzon DMİ 1994-2004 yılları arası ölçülen ve hesaplanan ortalama buharlaşma miktarları

Trabzon DMİ 1994-2004 yılları, Nisan-Ekim ayları verileri kullanılarak ölçülen ve hesaplanan buharlaşma miktarları incelendiğinde; Nisan-Ekim ayları için ölçülen buharlaşma miktarlarının, hesaplanan buharlaşma miktarlarından ortalama %24,41 oranında daha az olduğu gözlemlenmiştir.

Trabzon DMİ 1994-2004 yılları arasındaki 11 yıllık meteorolojik verileri kullanılarak hesaplanan tava katsayıları Şekil 5.22’de yer almaktadır.



Şekil 5.22.Trabzon DMİ-1994-2004 yılları arası hesaplanan ortalama tava katsayıları

Şekil 5.22’de hesaplanan tava katsayılarının Nisan-Ekim periyodu boyunca 1,00’in üzerinde değerler aldığı görülmektedir. Tava katsayısı Nisan-Ekim ayları boyunca lineer olmayan bir davranış göstermektedir ($R^2=0,9687$).

Trabzon ili için hesaplanan tava katsayılarının, ülke genelinde hesaplanan diğer tava katsayılarından hem davranış biçimi hem de aldığı değerler açısından oldukça farklı olduğu görülmüştür. Trabzon ilinin 1994-2004 yılları arasında Nisan-Ekim periyodu boyunca ortalama nispi nem değeri %76, ortalama sıcaklık değeri ise 19,20 °C’dir. Trabzon ilinin ortalama güneşlenme süresi ise yıllık ortalama 4,50 saat ile çalışma alanları arasındaki en düşük güneşlenme müddetine sahip olmaktadır. Düşük güneşlenme müddeti, yüksek nem değerleri ve ortalama sıcaklıklar göz önüne alındığında buharlaşma tavaasının güneş radyasyonundan az etkilendiği düşünülmektedir. Hatta bu faktörler ile metal tavanın güneş radyasyonunun ters yönde etkileneceği sebebiyle içerisindeki suya doğal süreçten daha az ısı kaynağı sağladığı söylenebilir.

Buharlaşma tavaası güneş radyasyonu açısından ters etkilenecek içerisindeki suyu ısıtmak yerine soğutmaktadır. Bu durumda buharlaşma miktarları doğal gölden daha düşük olacaktır. Ayrıca bölgedeki yüksek nem değerleri ve düşük ortalama sıcaklıklar net buharlaşma miktarının azalmasına ek katkı sağlar. Bu nedenlerle Trabzon ilinde diğer tüm yörelerden farklı olarak yaz aylarında dahi tava katsayılarının 1,00’in üzerinde seyretmesine neden

olmaktadır. Literatür araştırmalarında tava katsayısının 1,00'in üzerinde hesaplandığı çalışmalarda bulunmaktadır; Lapworth Londra'da 7 yıl boyunca yürüttüğü çalışmalar sonucunda tava katsayısının aylara göre 0,47 ile 1,18 arasında değerler aldığını belirtmiştir (Lapworth, 1965). 1947 yılında ise Young tarafından 1947 yılında yürütülen çalışmalarda ise tava katsayısının 12 ay boyunca 0,60 ile 1,10 arasında değerler aldığını hesaplamıştır (Young, 1947). Khobragade ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada ise nemli tropikal muson iklimine sahip Hindistan'ın Chandigarh kentindeki Sukhna Gölü için ise aylık tava katsayısı değişiminin 0,72-1,40 arasında olduğu, mevsimsel tava katsayısı değişiminin ise 0,81-1,16 arasında olduğu hesaplanmıştır (Khobragade, Semwal, Kumar, ve Nainwal, 2019).

“A Sınıfı” buharlaşma tavaşı üzerinden ölçülen buharlaşma rasatları ve hesaplanan buharlaşma miktarları göz önüne alınarak 11 farklı meteoroloji istasyonu için Nisan-Ekim aylarında tava katsayıları hesaplanmıştır.

Bu bölümde yapılan çalışmalarda elde edilen tava katsayıları aşağıdaki şekilde özetlenebilir;

- Amasya ili için tava katsayısı aralığı 1,00-0,78 ve tava katsayısı ortalaması 0,88,
- Ankara ili için tava katsayısı aralığı 0,96-0,66 ve tava katsayısı ortalaması 0,83,
- Bursa ili için tava katsayısı aralığı 0,90-0,63 ve tava katsayısı ortalaması 0,78,
- Denizli ili için tava katsayısı aralığı 0,93-0,70 ve tava katsayısı ortalaması 0,79,
- Edirne ili için tava katsayısı aralığı 1,15-0,85 ve tava katsayısı ortalaması 0,97,
- Elazığ ili için tava katsayısı aralığı 0,98-0,68 ve tava katsayısı ortalaması 0,82,
- İzmir ili için tava katsayısı aralığı 1,00-0,83 ve tava katsayısı ortalaması 0,88,
- Karaman ili için tava katsayısı aralığı 0,98-0,67 ve tava katsayısı ortalaması 0,83,
- Kayseri ili için tava katsayısı aralığı 0,97-0,72 ve tava katsayısı ortalaması 0,83,
- Mardin ili için tava katsayısı aralığı 0,81-0,50 ve tava katsayısı ortalaması 0,62,
- Trabzon ili için tava katsayısı aralığı 1,40-1,00 ve tava katsayısı ortalaması 1,26 olarak hesaplanmıştır.

Amasya, Ankara, Bursa, Denizli, Edirne ve Karaman illeri için Nisan-Ekim ayları boyunca tava katsayısı değerinin azaldığı, Elazığ, İzmir, Kayseri ve Mardin illeri için ise Nisan-Ağustos ayları arasında tava katsayısı değerinin azaldığı, Ağustos-Eylül aylarından sonra ise

artan eğilim gösterdiği, Trabzon ilinde ise periyod boyunca 1,00'in üzerinde değerler aldığı gözlemlenmiştir.

Bu çalışma kapsamında elde edilen tava katsayılarının Nisan-Ekim ayları boyunca sabit olmadığı, her ay için farklı değerlere sahip olduğu görülmüştür.

Hesaplanan tava katsayıları incelendiğinde İç Anadolu Karasal ikliminin etkin olduğu Ankara ve Karaman illerinin benzer tava katsayısı değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Çalışma kapsamında Bursa ve Denizli illeri için hesaplanan tava katsayıları birbirine yakındır. Bu durumun sebebi Bursa ilinin Marmara ile İç Anadolu ikliminin etkisinde, Denizli ilinin ise Ege ve İç anadolu ikliminin etkisinde olduğu düşüncesi ile iki şehirde aynı özelliklere sahip geçiş ikliminde olmasıdır.

Edirne ve Amasya illeri için Nisan-Mayıs aylarında yüksek tava katsayıları hesaplanmıştır. Mayıs ayından itibaren iki il için de tava katsayısı düşüş eğilimi göstermiş olup 0,80-0,90 civarında seyretmektedir. Bu durumun iki ilin de bahar dönemindeki düşük sıcaklık ve yüksek nem değerlerinden kaynaklandığı düşünülebilir. Edirne ili için Nisan-Mayıs aylarında hesaplanan tava katsayısı değerlerinin Amasya iline göre daha yüksek olmasının sebebinin Edirne DMI'nin rakımının 51 m olup deniz seviyesine oldukça yakın olmasıdır (Amasya DMI rakımı 412 m'dir). Çünkü deniz seviyesindeki hava basınçları daha yüksek olacağından Amasya da oluşan net buharlaşma miktarları daha yüksek olacaktır.

Elazığ, İzmir ve Kayseri illerinin tava katsayısı eğiliminin Nisan-Ekim periyodu boyunca; Nisan-Ağustos ayları arasında tava katsayısı değerinin azaldığı, Ağustos-Eylül aylarından sonra ise artan eğilimde olduğu görülmektedir. Bu durum enlem açısından incelendiğinde Elazığ, İzmir ve Kayseri illerinin 38° enlemi üzerinde oldukları tespit edilmiştir. Elazığ, İzmir ve Kayseri illeri için enlem derecesinin aynı olmasıyla birlikte benzer tava katsayısı eğilimi göstermeleri, enlem derecesine bağlı olarak hesaplanan Angot değerinin de etkisini göstermektedir.

Elazığ ve Kayseri illerinin tava katsayısı değerlerinin oldukça benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir. Bu durumun sebebinin yine benzer iklim özelliklerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Kayseri ile Elazığ illeri birlikte değerlendirildiğinde tava katsayısı

eğilimlerinin oldukça benzer olduğu görülmektedir. Elazığ ilinde yaz aylarında tava katsayısı değerleri Kayseri iline göre daha düşük bahar aylarında ise daha yüksek hesaplanmıştır. İki ilin meteorolojik verileri incelendiğinde; Elazığ ilinin sıcaklık ve nispi nem oranları Kayseri iline göre daha karasal iklim özelliklerine sahiptir. Tava katsayısındaki bu duruma Elazığ ilinde karasallığın daha etkili olmasının sebep olduğu söylenebilir. İzmir ilinde ise tava katsayıları daha yüksek değerlerde seyir etmektedir. Bu duruma İzmir ilinin nem oranının Nisan-Ekim ayları boyunca Elazığ ve Kayseri illerine göre daha az yüksek değerler alması ve daha az değişkenlik göstermesinin sebep olduğu düşünülmektedir.

Mardin ilinde hâkim olan Güneydoğu Anadolu Karasal ikliminin bahar aylarında düşük buharlaşma, yaz aylarında ise yüksek buharlaşmaya sebep olması nedeniyle tava katsayısının Nisan-Mayıs aylarında 0,80 civarında, Haziran-Ekim aylarında ise 0,71-0,50 arasında değerler aldığı görülmüştür.

Trabzon ili için düşük güneşlenme müddeti, yüksek nem değerleri ve ortalama sıcaklıklar göz önüne alındığında buharlaşma tavasının güneş radyasyonundan az etkilendiği düşünülmektedir. Hatta bu faktörler ile metal tavanın güneş radyasyonundan ters yönde etkilenmesi sebebiyle içerisindeki suya doğal süreçten daha az ısı kaynağı sağladığı düşünülmektedir. Buharlaşma tavasını güneş radyasyonu açısından ters etkilenerek içerisindeki suyu ısıtmak yerine soğutmaktadır. Bu durumda buharlaşma miktarları doğal gölden daha düşük olacaktır. Ayrıca bölgedeki yüksek nem değerleri ve düşük ortalama sıcaklıklar net buharlaşma miktarının azalmasına ek katkı sağlar. Bu nedenlerle Trabzon ilinde diğer tüm yörelerden farklı olarak yaz aylarında dahi tava katsayılarının 1,00'in üzerinde seyretmesine neden olmaktadır.

5.2. Penman Yöntemi Üzerine Hassasiyet Analizi

Hassasiyet, bir faktörün değişiminin başka bir faktör üzerinde ki etkisinin bir ölçüsüdür. Bir değişkenin model üzerinde ki etkisini araştırmak amacıyla hassasiyet analizi yapılmaktadır (McCuen 1973).

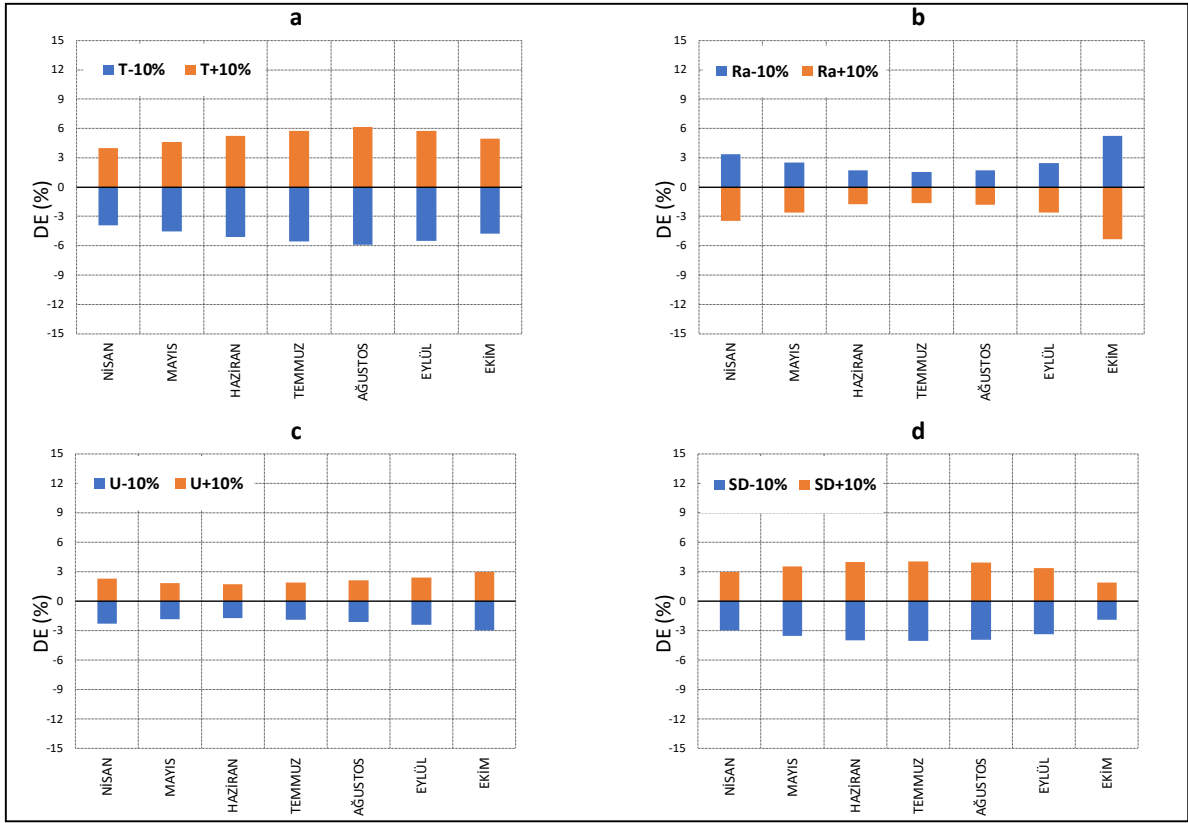
Serbest su yüzeyinden buharlaşma hesabı için birçok meteorolojik parametreye ihtiyaç duyulmaktadır (Koutsoyiannis and Xanthopoulos 1999; Panagoulia and Dimou 2000). Penman yöntemi ile buharlaşma hesabı yapılırken ölçülen aylık ortalama sıcaklık, rüzgâr hızı, nispi nem ve güneşlenme müddeti verileri kullanılmaktadır. Penman yöntemi ile buharlaşma hesabında meteorolojik veriler üzerinde hassasiyet analizi yapılarak; buharlaşma ölçümünde iklimsel parametlerin değişkenliğinin etkisi, hesaplanan buharlaşma miktarının doğruluğunun ölçülen buharlaşma miktarı ile karşılaştırılabilmesi ve yeterli veri bulunamaması halinde alternatif meteorolojik verilerin araştırılması sağlanabilmektedir (Coleman and Decoursey, 1976).

Bu tez çalışması kapsamında çeşitli istasyonlar için 11 yıllık periyotlar halinde ölçülen veriler kullanılarak buharlaşma hesabı yapılmıştır. Penman yönteminin hassasiyet analizinde Amasya ilinde 1984-1994 yılları boyunca ölçülen ortalama sıcaklık, rüzgâr hızı, nispi nem ve güneşlenme müddeti verileri kullanılmıştır.

Penman yönteminin hassasiyet analizi, buharlaşma hesabında kullanılan meteorolojik verilerin (ortalama sıcaklık, rüzgâr hızı, nispi nem ve güneşlenme müddeti) değiştirilmesi ile incelenmiştir. İlk olarak her bir parametre %10 arttırılıp ve azaltılarak (diğer parametreler sabitken) Penman yöntemi üzerinde etkisi incelenmiştir. Değiştirilen parametrenin Penman yöntemine etkisi Denklem 5.1 ile hesaplanabilmektedir (Mamassis N., Panagoulia D., Novkovic A., 2014).

$$\Delta ET = \frac{ET_V - ET_0}{ET_0} * 100 \quad (5.1)$$

Yukarıda verilen denklemde, ΔET buharlaşmadaki farkı (%), ET_V buharlaşma hesabındaki değişken parametreyi, ET_0 ise buharlaşma hesabında kullanılan değişken parametrenin ilk değerini ifade etmektedir.

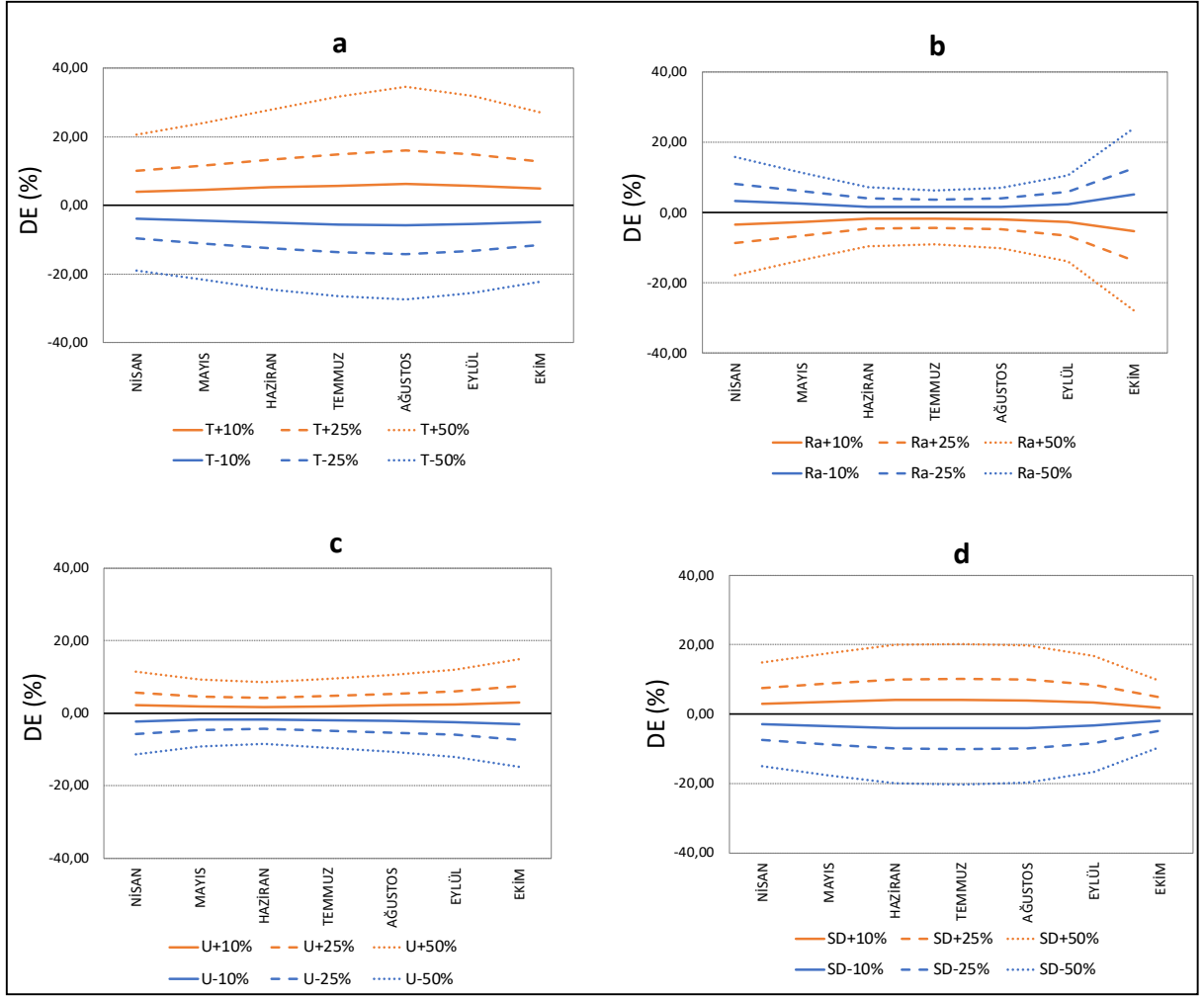


Şekil 5.23. Sıcaklık (a), nispi nem (b), rüzgar (c) ve güneşlenme müddeti (d) verilerinin %10 artış ve azalışı için aylık ortalama buharlaşma farkı (%)

Şekil 5.23 incelendiğinde hem aylık dilimde hem de analizin yapıldığı periyod boyunca (Nisan-Ekim periyodu) en büyük etkiyi sıcaklık faktörünün oluşturduğu (%10 değişim için %5,21), daha sonra sırasıyla güneşlenme müddeti (%10 değişim için %3,40), nispi nem (%10 değişim için %-2,65) ve rüzgarın (%10 değişim için %2,18) oluşturduğu görülmektedir.

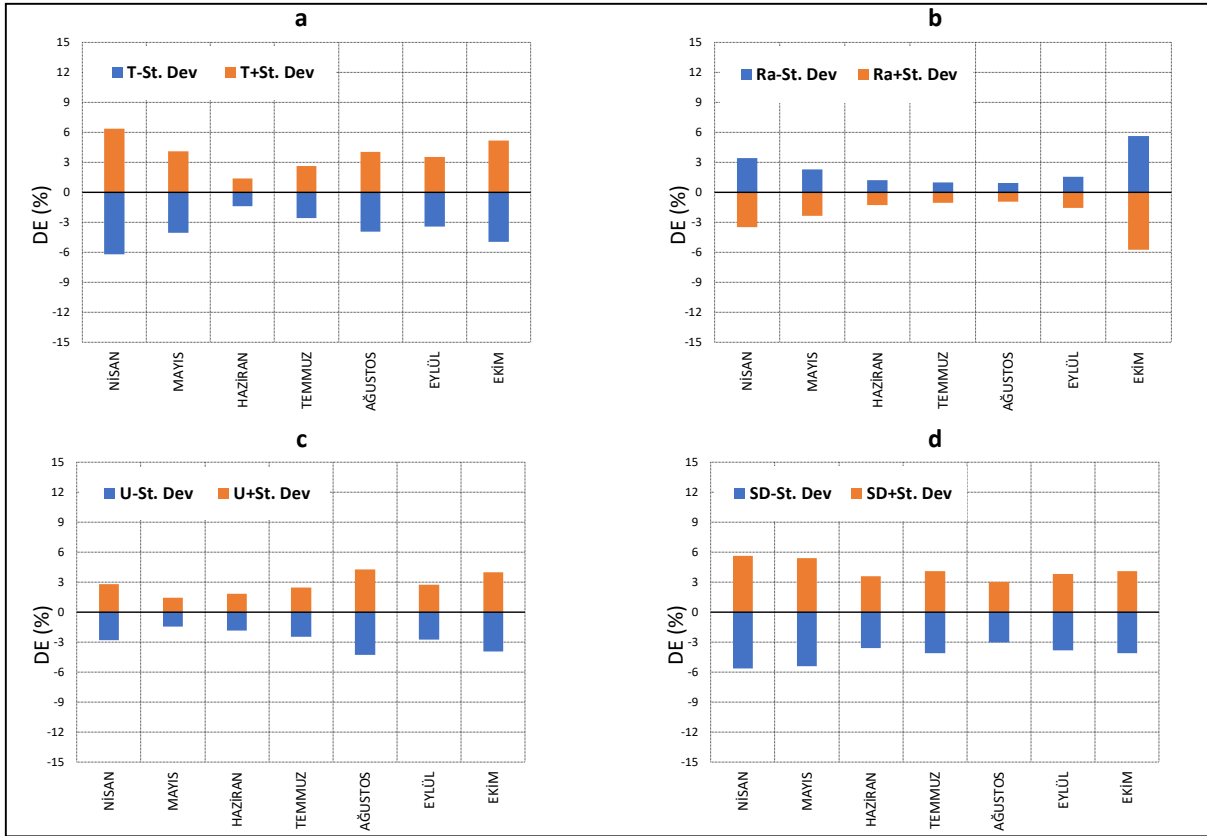
Değişken parametler incelendiğinde; sıcaklık (T) ve güneşlenme müddeti (SD) artışının buharlaşmaya etkisi bahar aylarına göre yaz aylarında daha fazla olmaktadır. Bu durumun tam karşıtı olarak nispi nem (Ra) ve rüzgar (U) ise yaz aylarına kıyasla bahar aylarında etkili olmaktadır.

Değişken parametlerin etkisinin daha detaylı görülebilmesi amacıyla değişkenler %25, %50 arttırılıp-azaltılarak ve standart sapma değerleri dikkate alınarak hassasiyet analizleri incelenmiştir.



Şekil 5.24. Sıcaklık (a), nispi nem (b), rüzgar (c) ve güneşlenme müddeti (d) verilerinin %10 - %25 - %50 artış ve azalışı için aylık ortalama buharlaşma farkı (%)

Şekil 5.24'te değişken parametlerin %10 - %25 - %50 artış ve azalış durumları incelendiğinde hem aylık dilimde hem de analizin yapıldığı periyod boyunca (Nisan-Ekim periyodu) en büyük etkiyi yine sıcaklık faktörünün oluşturduğu görülmektedir. Sıcaklıktaki %50 artış oranı yaz aylarında buharlaşmayı %34,53 oranına kadar arttırabilmektedir. Güneşlenme müddeti değişkeninin %50 artışı buharlaşmayı yaz aylarında %20,26 oranında arttırırken, bahar aylarında %9,51 oranında arttırmaktadır. Nisbi nem değişkeninin %50 artışı ise buharlaşmayı yaz aylarında %-9,06 oranında düşürürken, bahar aylarında %-27,89 oranına kadar düşürebilmektedir. Rüzgar değişkeninin %50 artışı ise periyod boyunca diğer parametrelere göre buharlaşmaya daha az etkisi olduğu görülmektedir (%50 artış için ortalama %10,89).



Şekil 5.25. Sıcaklık (a), nispi nem (b), rüzgar (c) ve güneşlenme müddeti (d) verilerinin standart sapma oranında artış ve azalışı için aylık ortalama buharlaşma farkı (%)

Nisan-Ekim periyodu boyunca değişken parametrelerinin standart sapmaları dikkate alınarak yapılan hassasiyet analizinde buharlaşmayı en fazla etkileyen değişken güneşlenme müddeti olmuştur (standart sapma değişimi için %4,24). Standart sapma değerleri dikkate alındığında güneşlenme müddeti ve sıcaklığın (standart sapma değişimi için %3,88) özellikle bahar aylarında buharlaşma da etkili olduğu görülmektedir. Bu durum iki parametrenin bahar aylarında geniş aralıkta değerler aldığını göstermektedir.

Nisan-Ekim periyodu süresince rüzgar değişkeni buharlaşmayı artırırken (standart sapma değişimi için %2,78), nispi nem azaltmıştır (standart sapma değişimi için %-2,34). Bu durum incelenen aylar içerisinde rüzgar değerlerinin geniş aralıkta, nispi nem değerlerinin ise dar aralıkta olduğunu ifade etmektedir.

Bu çalışma kapsamında hassasiyet analizi sabit parametreler ile yapılmamıştır. Hassasiyet analizi sıcaklık, nispi nem, rüzgar ve güneşlenme müddeti değişkenleri ile Nisan-Ekim

periyodu arasında çalışılmıştır. Kış ayları için değişken parametrelerin etkileri çalışma kapsamında incelenememiştir.

Penman yönteminin Nisan-Ekim periyodu boyunca yapılan hassasiyet analizi sonucunda;

- Ortalama sıcaklık, rüzgâr hızı ve güneşlenme müddeti parametrelerinin artışının buharlaşma miktarını arttırdığını, nispi nem artışının ise buharlaşmayı azalttığı görülmüştür. Nisbi nem artışı havanın gerçek buhar basıncını arttırarak serbest su yüzeyinden su moleküllerinin uzaklaşmasını engellemektedir. Bu nedenle nisbi nem artışı buharlaşma miktarını azaltmaktadır.
- Buharlaşmayı en fazla etkileyen parametre sıcaklık (%10 değişim için %5,21) olup, sonrasında sırasıyla güneşlenme müddeti (%10 değişim için %3,40), nispi nem (%10 değişim için %-2,65) ve rüzgar (%10 değişim için %2,18) etkilemektedir.
- Yaz aylarında buharlaşmayı en fazla sıcaklık etkilerken, bahar aylarında buharlaşmayı en fazla nispi nem etkilemektedir. Yaz aylarına göre bahar aylarında nispi neme hassasiyet artmaktadır. Örneğin nispi nemdeki %10 değişim için buharlaşma oranı Temmuz ayında %-1,66 azalırken, Ekim ayında %-5,36 oranında azalmaktadır.
- Sıcaklık ve güneşlenme müddeti yaz aylarında buharlaşmayı daha çok etkilerken, nispi nem ve rüzgar bahar aylarında etkilemektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ülkemizde ve dünyada sınırlı olan su kaynaklarının önemi her geçen gün artmaktadır. Su kaynaklarının doğru kullanılabilmesi için öncelikle kayıpların belirlenmesi gerekmektedir. Özellikle kurak bölgelerde yer alan su kaynaklarındaki kayıpların en büyük sebeplerinden birisi serbest su yüzünden oluşan buharlaşma miktarı olmaktadır. Bu sebeple buharlaşma ile rezervuarlarda biriken suyun hangi oranda buharlaşma yoluyla atmosfere geri döndüğünün belirlenmesi önem taşımaktadır.

Su yüzeyinden buharlaşma miktarının hesabı, olayı etkileyen faktörlerin çokluğu nedeni ile oldukça güçtür. Rezervuarlarda doğası gereği buharlaşan su miktarı doğrudan doğruya ölçümü mümkün olamamaktadır. Serbest su yüzeyinden buharlaşma miktarı belirlenmesi amacıyla doğrudan ölçümler evaporimetre adı verilen buharlaşma tavaları ile yapılabilmektedir. Ayrıca su bütçesi metodu, enerji bütçesi metodu, kütle transfer metodu, birleştirilmiş metotlar ve ampirik formüller yoluyla da buharlaşma miktarı hesaplanabilmektedir. Doğrudan ölçüm yöntemlerinden buharlaşma tavaşı yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Dünyanın diğer bölgelerinde yaygın olarak kullanımı tercih edilen “A Sınıfı” buharlaşma tavaşı Türkiye’de de kullanılmaktadır. Buharlaşma miktarının tespiti amacıyla geliştirilmiş ve yaygın olarak kullanılan ampirik metotlardan birisi Penman formülüdür. Su yüzeyinden günlük ve aylık buharlaşma miktarlarının tahmininde bu formülün yaygın olarak kullanılma sebebi, hidrolojinin temel denklemlerinden enerji dengesi ve kütle transferi yöntemlerinin yer aldığı fiziksel süreçlerin aynı denklem içerisinde birlikte kullanımıdır. Bu sayede Penman birçok meteorolojik faktörü denklemine dahil etmiştir.

Bu tez çalışması için Türkiye’nin farklı bölgelerinde yer alan meteoroloji istasyonları (Amasya, Ankara, Bursa, Denizli, Edirne, Elazığ, İzmir, Karaman, Kayseri, Mardin ve Trabzon DMİ) çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Seçilen 11 farklı meteoroloji istasyonu verileri kullanarak 11 yıllık periyotlar halinde Nisan-Ekim ayları için “A Sınıfı” buharlaşma tavaşı üzerinden ölçülen buharlaşma rasatları ve Penman yöntemi ile hesaplanan buharlaşma miktarları karşılaştırmalı analiz edilmiştir. Karşılaştırılan “A Sınıfı” buharlaşma tavaşı üzerinden ölçülen buharlaşma rasatları ile 11 farklı meteoroloji istasyonu için hesaplanan buharlaşma miktarları Nisan-Ekim ayları periyodunca tava katsayıları hesaplanmıştır.

Yapılan çalışma sonuçları “A” sınıfı buharlaşma tavaşı ile ölçülen buharlaşma miktarlarının, Penman yöntemiyle hesaplanan buharlaşma miktarlarına göre genellikle daha yüksek değerlerde oluştuğunu göstermiştir. Bununla birlikte bazı coğrafi konum ve iklimsel özelliklere bağlı olarak farklı durumların oluştuğu da gözlemlenmiştir.

Hesaplanan tava katsayıları ile genellikle ilkbahar aylarında (Nisan ve Mayıs) sıcaklığın ve güneşlenme müddetinin az olması ile buharlaşma tavaşının metal çerçevesi güneş radyasyonundan daha az etkilenecek, içerisindeki suya doğal süreçten daha fazla ısı kaynağı sağlayamamakla beraber, bu durumun buharlaşma tavaşı rasatları ile hesaplanan buharlaşma miktarı arasındaki farkı azaltarak tava katsayısının 1'e yakın değerler almasına sebep olduğu görülmüştür. Buharlaşma tavaşının yaz aylarına doğru daha fazla güneş radyasyonundan etkilenmesi ile tava katsayısı değerinin 0,70 ve altındaki değerlere azaldığı tespit edilmiştir.

Çalışma kapsamında ayrıca sıcaklık, güneşlenme müddeti, nispi nem ve rüzgâr değerlerine bağlı olarak Penman yöntemi üzerine hassasiyet analizi yapılarak bu parametrelerin buharlaşma miktarı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Penman yönteminin Nisan-Ekim periyodu boyunca yapılan hassasiyet analizleri sonucunda;

- Ortalama sıcaklık, rüzgâr hızı ve güneşlenme müddeti parametrelerindeki artış ile buharlaşma miktarlarının arttığı, nispi nem artışı ile buharlaşmanın azaldığı tespit edilmiştir.
- Sıcaklık buharlaşmayı en fazla etkileyen parametre olup, sıcaklıktaki %10 değişim için buharlaşmada %5,21 etki hesaplanmıştır. Sonrasında sırasıyla güneşlenme müddetindeki %10 değişim için buharlaşmada %3,40 etki, nispi nemdeki %10 değişim için buharlaşmada %-2,65 etki ve rüzgârdaki %10 değişim için %2,18 etki görülmüştür.
- Yaz aylarında buharlaşmayı en fazla sıcaklık parametresi etkilerken, bahar aylarında buharlaşmayı en fazla nispi nem etkilemektedir.
- Sıcaklık ve güneşlenme müddeti yaz aylarında buharlaşmayı daha çok etkilerken, nispi nem ve rüzgârın ise bahar aylarında buharlaşmayı daha çok etkilediği sonuçlarına varılmıştır.

Farklı istasyonlar üzerinden yürütülen çalışma sonucunda benzer iklim özellikleri gösteren istasyonlar için benzer tava katsayıları hesaplanmıştır. Örneğin; Ankara ve Karaman, Bursa ve Denizli, Elazığ ve Kayseri. Ayrıca aynı enlem üzerinde bulunan istasyonların aynı tava

katsayısı eğilimine sahip olduğu görülmüştür. Örneğin 38° enleminde yer alan Elazığ, Kayseri ve İzmir illeri.

Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar her ay için sabit tava katsayısının kullanılması durumunda bazı aylar için ölçüm ile hesaplanan buharlaşma değerleri arasında büyük farkların oluştuğunu göstermektedir. Bu nedenle her saha için genel eğilim dikkate alınarak tava katsayısının Nisan-Ekim periyodu boyunca her ay için değişken tava katsayısının kullanımı önerilmektedir. Bununla birlikte her yörenin iklimsel, mevsimsel ve meteorolojik özel durumları dikkate alınarak aylık bazda uzun yılları temsil edebilecek tava katsayılarının belirlenerek kullanılması önerilmektedir.

Bu çalışmanın literatüre katkısı Türkiye'nin farklı havzalarında yer alan istasyonlar için aylık karşılaştırmalı buharlaşma miktarlarının kapsamlı değerlendirmelerini yaparak, tava katsayılarının araştırılması ve buharlaşma miktarının en doğru şekilde hesaplanmasını sağlamaktır. Bu amaçla Türkiye'de kullanılan tava katsayısının sabit olmadığı ve ülke sınırları içerisinde geniş aralıklara sahip olduğu belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Abtew, W. (2001). Evaporation estimation for Lake Okeechobee in South Florida. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 127(3), 140-147.
- Akbaş, F. (2021). Denizli Şehrinin İklim Parametreleri. *Sosyal, Beşeri Ve İdari Bilimler Dergisi*, 2 (12), 913–937.
- Akman, Y. (1990). *İklim ve Biyoiklim (Biyoiklim Metodları ve Türkiye İklimleri)*. Ankara: Palme Yayınları, 320.
- Aydın, H. and Düzen, H. (2011, Nisan). *Comparison of measured and calculated evaporation values of open water surface: The case of Lake Van*. 5th Atmospheric Science Symposium, İstanbul, 279-282.
- Aydın, Y. (2019). Estimation of evaporation from class A Pan in semi-arid climatic conditions by Penman and Kohler-Norderson-Fox (KNF) models. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 6(3), 319-327.
- Beadle, H. W. and R. R., Cruse. (1957). Water conservation through control of evaporation. *American Water Works Association Journal*, 397-404.
- Brunt, D. (1944). Progress in Meteorology. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 70(303), 1-11.
- Carpenter, L. G. (1898). The loss of water from reservoirs by seepage and evaporation. *Agriculture Experiment Station. Bulletin*, (45), 32.
- Christiansen, J. E. (1968). Evaporation and Evapotranspiration from Climatic Data. *Journal of Irrigation And Drainage*, 94(2), 243-265.
- Cinel, F. (1986). *Bursa'nın İklim Analizi*. Yüksek Lisans tezi, İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve Coğrafya Enstitüsü, İstanbul.
- Coleman, G. and De Coursey, D. G. (1976). Sensitivity and model variance analysis applied to some evaporation and evapotranspiration models. *Water Resources Research*, 12(5), 873-879.
- Criddle, W. D. (1958, November). *A New Equation for Calculating Flow of Lubricating Greases*. National Lubricating Grease Institute 25th Annual Meeting, Chicago, 381-385.
- Crowe, P. J. (1974). The Farmoor source works in operation. *Journal of The Institution of Water Engineers*, 28(2), 101-124.
- Cuenca, R. H. (1989). *Irrigation system design: An engineering approach*. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 552.
- Çelenk, Ş. (1982). *Buharlaşmanın Meteorolojik Donelerle Hesaplanması (Penman Metodu)*. Ankara: Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Yayınları, 10.

- De Cáceres, M., Nicolas M., Marco T., Antoine C., and Victor G. (2018). Estimating daily meteorological data and downscaling climate models over landscapes. *Environmental Modelling & Software*, 108(8), 186–196.
- De Bruin, H. A. R. (1978). A simple model for shallow lake evaporation. *Journal of Application Meteorology*, 17, 1132-1134.
- Erdem, H. (1987). *Ankara'nın İklim Analizi*. Yüksek Lisans tezi, İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve Coğrafya Enstitüsü, İstanbul.
- İnternet: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü. (2022). Web: <https://bolge07.dsi.gov.tr/-Sayfa/Detay/1050>, Son Erişim Tarihi: 20/12/2022.
- İnternet: Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (2021). Web: <https://www.mgm.gov.tr/-veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m>, Son Erişim Tarihi: 30/11/2022.
- İnternet: The United States Geological Survey. (2016). Web: <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/evaporation-and-water-cycle>, Son Erişim Tarihi: 22/11/2022.
- Jensen E. M., Dotan A. and Sanford R. (2005, May). *Penman-Monteith Estimates of Reservoir Evaporation*. World Water and Environmental Resources Congress 2005, Alaska, 1-24.
- Karadeniz, Y. (1995). *Trabzon ve Çevresinin İklimi*. Doktora tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Keijman, J.Q. (1974). The estimation of energy balance of a lake from simple weather data. *Bound-Layer Meteor*, 7, 399-407.
- Keskin, M.E., Şorman, A.Ü., and Terzi, Ö. (2005). Aylık tava katsayılarının penman metodu kullanılarak belirlenmesi: Eğirdir Gölü uygulaması. *İMO Teknik Dergi*, 227, 3395-3403.
- Khobragade, S.D., Semwal, P., Kumar, A.R.S. and Nainwal, H.C. (2019). Pan coefficients for estimating open water surface evaporation for a humid tropical monsoon climate region in India. *Journal of Earth System Science*, 128-175.
- Koçman, Asaf. (1993). *Türkiye İklimi*. İzmir: Ege Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Yayınları, 24.
- Kohler, M.A. (1954). Lake and pan evaporation. *Geological Survey Prof*, 127-148.
- Kohler, M.A. Nordenson T.J. and Baker D.R., (1959). Evaporation Maps for the United States. *United States Weather Bureau Technical Paper*, 37.
- Koutsoyiannis D. and Xanthopoulos Th. (1999), *Engineering Hydrology*. Athens: National Technical University of Athens, 35.
- Lapworth, C.F. (1965). Evaporation from a reservoir near London. *Journal of the Institution of Water Engineers*, 19(2), 163-181.

- Linacre, E. T. (1994). Estimating U.S. Class A-pan evaporation from few climate data. *Water International*, 19, 5-14.
- Linsley, R. K., Kohler, M. A. & Paulhus, J. L. H. (1975). *Hydrology For Engineers*. New York: McGraw-Hill, 101.
- Lynch, K. (1982). *Yurt Ansiklopedisi*. İstanbul: Anadolu Yayıncılık. 2351-2473.
- Mamassis, N., Panagoulia D. and Novkavic A. (2014). Sensitivity analysis of penman evaporation method. *GlobalNEST International Journal*, 14(4), 628-639.
- McCuen, R. H. (1973). The role of sensitivity analysis in hydrologic modeling. *Journal of Hydrology* 18(1), 37-53.
- Mekoya, A. (2020). Dependency of evaporation and class a pan coefficient on meteorological parameters. *International Journal Of Environmental Sciences & Natural Resources*, 24(2), 5-14.
- Orang, M. (1998). Potential accuracy of the popular non-linear regression equations for estimating pan coefficient values in the original and FAO-24 tables. *Department of Water Resources Report*. California. 180-184.
- Özdemir, A. (1994). *Amasya'nın İklim Analizi*. Yüksek Lisans tezi, İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, İstanbul.
- Panagoulia, E. and Dimou, P. A. (2000), *Introduction to land reclamation works*. Athens: National Technical University of Athens, 56.
- Penman, H. L. (1948). Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proc. Royal Soc. London, Mathematical and Physical Sciences*, 193(1032), 120-145.
- Penman, H. L. (1956). Evaporation. An introductory survey. Netherlands. *The Journal of Agricultural Science*, 4, 9-29.
- Pereira, A. R., Villanova, N., Pereira, A. S. and Barbieri, V. A. (1995). A model for the Class-A pan coefficient; *Agric. Water Managament*, 76, 75-82.
- Pradhan, S., Sehgal, V. K., Das, D. K., Bandyopadhyay, K. K. and Singh, R. (2013). Evaluation of pan coefficient methods for estimating FAO-56 reference crop evapotranspiration in a semi-arid environment. *J. Agrometeorol*, 15(I), 90-93.
- Priestley, C. M. B. and Taylor, R. J. (1972). On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. *Monthly Weather Review*, 100(2), 81-92.
- Roberts, W. J. (1957). Evaporatian suppression from water surface. *Transactions of the American Geophysical Union*, 38, 740-744.
- Rohwer, C. (1931). Evaporation from Free Water Surfaces. *United States Department of Agriculture Technical Buletians*, 271, 96.
- Sezer, L. İ. (1990). Türkiye’de ortalama yıllık sıcaklık farkının dağılışı ve conitentalite derecesi üzerine yeni bir formül. *Ege Coğrafya Dergisi*, 5(1), 110-159.

- Sezer, Ç. Ö. and Öztekin, T. (2016). A sınıfı buharlaşma kabından olan günlük buharlaşmanın Penman ve Linacre modelleri ile tahmini. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 33(3), 137-147.
- Snyder, R. L. (1992). Equation for evaporation pan to evapotranspiration conversions. *Journal of Irrigation Drainage Engineer*, 118(6), 977-980.
- Şensoy, S., Coşkun, M., Sümer, U., Demircan, M., Gürkan, H., Eskioğlu, O., Yazıcı, B., Türkoğlu, N. and Çiçek, İ. (2017, Temmuz). *Karaman ve Karapınar'ın iklim değişikliği trendleri*. IV. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi, İstanbul, 37-46.
- Thornthwaite, C. W. and Holzman B. (1941). Evaporation and transpiration. *United States Department of Agriculture*, 21, 545-550.
- Tonbul, S. (1990). *Elazığ ve Çevresinin İklim Özellikleri ve Keban Barajı'nın Yöre İklimi Üzerine Olan Etkileri*. Fırat Üniversitesi Coğrafya Sempozyumu, Elazığ, 275-293.
- Tuncel, M. (1993). Türkiye'nin Farklılığı ve Çeşitliliği, *Globe*, 162.
- Uşul, N. (2008). *Engineering Hydrology*, Ankara: ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık, 27.
- Wahed, M. H. A. and Snyder, R. L. (2008). Simple equation to estimate reference evapotranspiration from evaporation pans surrounded by fallow soil. *J. Irrig. Drain. Eng.* 134(4), 425-429.
- Wai, N. M., Camerlengo, A., Khairi, A. W. and Harun, S. (2004). Estimation of evaporation and evapotranspiration in Malaysia using Penman and Christiansen methods. *Borneo Science*, 15, 23-36.
- Wendling, U. (1991). Estimating evaporation in crop stands according to Penman AND Turc formulas (in German with English summary). *Arch. Acker-pflanzenbau Bodenkd*, 35, 251-257.
- Wilson, E.M. (1974). *Engineering Hydrology*, London: Macmillan, 210.
- Winter, T. C. and Rosenberry, D. O. (1995). Evaluation of 11 equations for determining evaporation for a small lake in the north central United States. *Water Resources Research*, 31(4), 983-993.
- World Meteorological Organization, (1966). Measurement and Estimation of Evaporation and Evapotranspiration, *WMO No. 201*, 102-115, Geneva.
- World Meteorological Organization, (2003). Manual on the Global Observing System. *WMO No. 544*, 16-20, Geneva.
- World Meteorological Organization, (2008). Guide to Hydrological Practices. *WMO-No. 168*, 1-30, Geneva.
- World Meteorological Organization, (2012). International Glossary of Hydrology. *WMO No. 385*. 155-374, Geneva.

- Yıldız, F. E. and Güre, İ. (2014). Sultansazlığı sulak alanı için buharlaşma yöntemlerinin karşılaştırılması. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2(3), 247-254.
- Young, A. A. (1947). Evaporation from Water Surfaces in California. *The Soil and Water Resources Conservation*, 54, 68.
- Yu, T. F., Si, J. H., Feng, Q., Xi, H. Y., Chu, Y. W., and Li, K. (2017). Simulation of pan evaporation and application to estimate the evaporation of Juyan Lake, Northwest China under a hyper-arid climate. *Water*, 9(12), 912-952.
- Yücel, Y. (1983). *Yurt Ansiklopedisi*. İstanbul: Anadolu Yayıncılık. 5439-6216.



Gazili olmak ayrıcalıktır