



**METEOROLOJİK VERİLER
KULLANILARAK KARABÜK İLİNDE
BUHARLAŞMA TAHMİNİ**

**2023
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

Aida Kani AHMAT M'BODOU

**Tez Danışmanları
Dr. Öğr. Üyesi Fatih SAKA
Dr. Öğr. Üyesi Hasan Törehan BABACAN**

**METEOROLOJİK VERİLER KULLANILARAK KARABÜK
İLİNDE BUHARLAŞMA TAHMİNİ**

Aida Kani AHMAT M'BODOU

Tez Danışmanları

Dr. Öğr. Üyesi Fatih SAKA

Dr. Öğr. Üyesi Hasan Törehan BABACAN

T.C.

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında

Yüksek Lisans Tezi

Olarak Hazırlanmıştır

KARABÜK

Temmuz 2023

Aida Kani AHMAT M'BODOU tarafından hazırlanan "METEOROLOJİK VERİLER KULLANILARAK KARABÜK İLİNDE BUHARLAŞMA TAHMİNİ" başlıklı bu tezin Programı Seçin olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Fatih SAKA

Tez Danışmanı, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 13/07/2023

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Ertuğrul ESMERAY (KBÜ)

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Ercan GEMİCİ (BARÜ)

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Fatih SAKA (KBÜ)

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Müslüm KUZU

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Aida Kani AHMAT M’BODOU

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

METEOROLOJİK VERİLER KULLANILARAK KARABÜK İLİNDE BUHARLAŞMA TAHMİNİ

Aida Kani AHMAT M'BODOU

**Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

Tez Danışmanları:

Dr. Öğr. Üyesi Fatih SAKA

Dr. Öğr. Üyesi Hasan Törehan BABACAN

Temmuz 13, 63 sayfa

Bu tez, Karabük ilindeki buharlaşma ve evapotranspirasyon miktarlarının meteorolojik veriler kullanılarak tahmin edilmesini amaçlamaktadır. Buharlaşma, suyun atmosfere geçiş sürecidir ve su kaynaklarının yönetimi, iklim modelleri ve tarım planlaması gibi alanlarda kritik bir rol oynamaktadır. Bu tahminler, küresel ısınma ve su kaynakları krizleri gibi önemli çevresel sorunlar karşısında su kaynaklarının yönetimi açısından büyük önem taşımaktadır. Çalışmada, Karabük ilindeki meteorolojik verilerden yola çıkarak ampirik formüller ile buharlaşma ve evapotranspirasyon tahminleri ve analizleri yapılmıştır. Daha sonra, istatistiksel yöntemler kullanılarak buharlaşma ve evapotranspirasyon miktarının tahmin edilmesi amacıyla yeni formüller geliştirilmiştir. Yapılan korelasyon analizleri sonucunda, Karabük ilindeki buharlaşma miktarına en çok sıcaklık ve basınç farkı (ew-ea) faktörlerinin etkili olduğu, evapotranspirasyon miktarına ise en çok sıcaklık, basınç

farkı (ew-ea) ve güneşlenme süresi parametrelerinin etkili olduğu belirlenmiştir. Çalışmada, Karabük ili için buharlaşma ve evapotranspirasyon miktarlarının tahmini amacıyla geliştirilen formüllerin, var olan diğer ampirik formüllerden nisbeten daha düşük hata oranıyla tahminler sağladığı tespit edilmiştir. Bu tez, su kaynaklarının yönetimi açısından önemli bir katkı sağlayacak ve ilgili alanlarda kullanılacak bir kaynak olacaktır.

Anahtar Sözcükler : Buharlaşma, Evapotranspirasyon, Penman, Thornthwaite, Turc, Kharrufa, Blaney-Criddle, Hamon, Lugen, SPSS, Karabük buharlaşma oranı.

Bilim Kodu : 91106

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

EVAPORATION FORECAST IN KARABÜK PROVINCE USING METEOROLOGICAL DATA

Aida Kani AHMAT M'BODOU

**Karabük University
Institute of Graduate Programs
Department of Civil Engineering**

Thesis Advisors:

Assist. Prof. Dr. Fatih SAKA

Assist. Prof. Dr. Hasan Törehan BABACAN

July 13, 63 pages

This master's thesis aims to predict the amounts of evaporation and evapotranspiration in Karabük province using meteorological data. Evaporation is the process of water vaporizing into the atmosphere and plays a critical role in various fields such as climate modeling, agricultural planning, and water resource management. Given the increasing temperature changes and water crises caused by global warming in recent years, accurate prediction of evaporation amounts is crucial for water resource management. In this study, empirical formulas were used to estimate and analyze evaporation and evapotranspiration based on meteorological data from Karabük province. New formulas were developed using statistical methods to predict evaporation and evapotranspiration amounts. The correlation analysis revealed that temperature and vapor pressure deficit ($e_w - e_a$) were the most effective factors for evaporation, while temperature, vapor pressure deficit, and sunshine

duration were the most effective factors for evapotranspiration in Karabük province. The developed formulas for predicting evaporation and evapotranspiration amounts in Karabük province were relatively found to provide better predictions with lower error rates compared to existing empirical formulas. This thesis is expected to be a valuable resource for water resource management and can be used in relevant fields.

Key Word : Evaporation, evapotranspiration, Penman, Thornthwaite, Turc, Kharrufa, Blaney-Criddle, Hamon, Lugen, SPSS, Evporation rate in Karabuk.

Science Code : 91106

TEŞEKKÜR

Lisans öğrenimim boyunca hidrolik alanına olan ilgimde büyük etkisi olan, tez hazırlama sürecimde yardım, öneri ve bilgilerini her zaman esirgemeyen kıymetli hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Fatih SAKA'ya içtenlikle teşekkür ederim.

Ayrıca araştırmam boyunca yardımlarını esirgemeyen Dr. Öğr.Üyesi Hasan Törehan BABACAN'A sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, bu yüksek lisans tezi, üniversitemizin Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) birimi tarafından KBÜBAP-22-YL-088 proje numarası ile desteklenmiştir.

Son olarak, yüksek lisans çalışmam boyunca manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen aileme içtenlikle teşekkür ederim. Onların sonsuz inancı, sevgisi ve destekleri benim için güç ve ilham kaynağı oldu.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
GENEL BİLGİLER	3
2.1. SU POTANSİYELİ.....	3
2.2. HIDROLOJİK ÇEVİRİM.....	5
BÖLÜM 3	9
BUHARLAŞMA.....	9
3.1. BUHARLAŞMAYI ETKİLEYEN FAKTÖRLER	10
3.1.1. Meteorolojik Faktörler.....	10
3.1.1.1. Havanın Buhar Basıncı	10
3.1.1.2. Güneş Radyasyonu.....	11
3.1.1.3. Hava Sıcaklığı.....	11
3.1.1.4. Havanın Hareketi (Rüzgar).....	11
3.1.1.5. Hava Basıncı	11
3.1.1.6. Havanın Nem Oranı	12
3.1.2. Coğrafik ve Topoğrafik Faktörler.....	12

Sayfa

3.1.2.1. Bölgenin Enlem Derecesi	12
3.1.2.2. Bölgenin Kotu	13
3.1.2.3. Bakı	13
3.1.3. Suyun Kalitesi ve Bulunduğu Ortam	13
3.1.3.1. Su Yüzey Alanının Büyüklüğü	13
3.1.3.2. Su Kütlesinin Büyüklüğü	14
3.1.3.3. Suyun Tuzluluk Durumu	14
3.1.3.4. Suyun Kirlilik ve Bulanıklılık Durumu	14
3.1.3.5. Suyun Hareketi	14
3.2. BUHARLAŞMA TÜRLERİ	14
3.2.1. Zemin ve Kar Yüzeylerinden Buharlaşma	14
3.2.2. Terleme ve Tutma	15
3.2.3. Su Yüzeylerinden Buharlaşma	15
3.2.4. Evapotranspirasyon (Buharlaşma – Terleme)	16
3.3. BUHARLAŞMA AZALTMA YÖNTEMLERİ	16
3.3.1. Su Yüzeyi Alanının Azaltılması	16
3.3.2. Su Yüzeylerinin Örtülmesi	17
3.3.3. Gölge Toplarının Kullanımı	17
3.3.4. Güneş Panellerinin Kullanımı	17
3.3.5. Kimyasalların Kullanımı	18
3.3.6. Biyolojik Örtülerin Kullanımı	18
3.4. BUHARLAŞMANIN ÖLÇÜLMESİ	19
3.4.1. Atmometre	19
3.4.2. Buharlaşma Tavaları	20
3.4.2.1. ABD A Sınıfı Buharlaşma Tavasası (United States Class A Pan)	20
3.4.2.2. GGI 3000 Rus Tipi Buharlaşma Tavasası (Russian GGI-3000 Pan)	22
3.4.3. Rus Tipi 20 m ² 'lik Buharlaşma Tankı (Russian 20 m ² Evaporation Tank)	22
3.5. BUHARLAŞMA TAHMİN METOTLARI	22
3.5.1. Ampirik Eşitlikler ile Buharlaşma ve Evapotranspirasyon Tahmini	23
3.5.1.1. Su Dengesi Metodu	23
3.5.1.2. Enerji Dengesi Metodu	24

	<u>Sayfa</u>
3.5.1.3. Kütle Transferi Metodu.....	25
3.5.1.4. Lugen Eşitliği.....	25
3.5.1.5. Meyer Eşitliği.....	26
3.5.1.6. Penman-Monteith Metodu	26
3.5.1.7. Thornthwaite Metodu.....	28
3.5.1.8. Blaney–Criddle Eşitliği.....	28
3.5.1.9. Turc Denklemi	30
3.5.1.10. Kharrufa (1985) Denklemi.....	30
3.5.1.11. Hamon (1961) Denklemi	31
3.5.1.12. Rohwer (1962)	31
3.5.2. Yapay Sınır Ağlarının Buharlaştırma Miktarının Tahmininde Kullanılması	31
BÖLÜM 4	33
ÇALIŞMA ALANININ TANITILMASI	33
4.1. ÇALIŞMA ALANININ COĞRAFİK VE TOPOĞRAFİK ÖZELLİKLERİ: 33	
4.2. ÇALIŞMA ALANININ İKLİM BİLGİSİ.....	34
BÖLÜM 5	35
BULGULAR VE TARTIŞMA	35
BÖLÜM 6	54
SONUÇ VE ÖNERİLER	54
KAYNAKLAR	57
ÖZGEÇMİŞ	63

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Türkiye geneli yıllık alansal yağışları [17]	5
Şekil 2.2. Hidrolojik dolaşım [20].....	6
Şekil 2.3. Hidrolojik döngünün mühendislik gösterimi [20]	7
Şekil 3.1. Su yüzeylerinden meydana gelen buharlaşma olayı [26,36,37]	10
Şekil 3.2. Soldan sağa sırasıyla; Bellani, Wild ve Piche tipi atmometre cihazları [55]	19
Şekil 3.3. ABD A sınıfı buharlaşma tavaşı	20
Şekil 3.4. Tavada su seviyesini gösteren ve dalga kıran vezifesi gören platform (Nidogeyç) [37]	21
Şekil 4.1. Çalışma alanı olan Karabük ilinin fiziki haritası	34
Şekil 5.1. Lugen eşitliği yardımıyla hesaplanan değerler ile ölçülen değerlerin aylara göre değişimi	36
Şekil 5.2. Lugen eşitliği ile hesaplanan ve MGM tarafından ölçülen E miktarı arasındaki mutlak hata grafiği	37
Şekil 5.3. Meyer eşitliği yardımıyla hesaplanan değerler ile ölçülen değerlerin aylara göre değişimi	37
Şekil 5.4. Meyer eşitliği ile hesaplanan ve MGM tarafından ölçülen E miktarı arasındaki mutlak hata grafiği	38
Şekil 5.5. Penman metodu yardımıyla hesaplanan değerler ile ölçülen değerlerin aylara göre değişimi.....	39
Şekil 5.6. Penman metodu ile hesaplanan ve MGM tarafından ölçülen Etp miktarı arasındaki mutlak hata grafiği	39
Şekil 5.7. Thornthwaite metodu yardımıyla hesaplanan değerler ile ölçülen değerlerin aylara göre değişimi.....	40
Şekil 5.8. Thornthwaite metodu ile hesaplanan ve MGM tarafından ölçülen Etp miktarı arasındaki mutlak hata grafiği.....	40
Şekil 5.9. Blaney-Criddle metodu yardımıyla hesaplanan değerler ile ölçülen değerlerin aylara göre değişimi	41
Şekil 5.10. Blaney-Criddle metodu ile hesaplanan ve MGM tarafından ölçülen Etp miktarı arasındaki mutlak hata grafiği	41
Şekil 5.11. Turc metodu yardımıyla hesaplanan değerler ile ölçülen değerlerin aylara göre değişimi	42

Şekil 5.12. Turc denklemi ile hesaplanan ve MGM tarafından ölçülen Etp miktarı arasındaki mutlak hata grafiği	42
Şekil 5.13. Kharrufa metodu yardımıyla hesaplanan değerler ile ölçülen değerlerin aylara göre değişimi	43
Şekil 5.14. Kharrufa denklemi ile hesaplanan ve MGM tarafından ölçülen Etp miktarı arasındaki mutlak hata grafiği	43
Şekil 5.15. Hamon metodu yardımıyla hesaplanan değerler ile ölçülen değerlerin aylara göre değişimi	44
Şekil 5.16. Hamon denklemi ile hesaplanan ve MGM tarafından ölçülen Etp miktarı arasındaki mutlak hata grafiği	44
Şekil 5.17. Rohwer metodu yardımıyla hesaplanan değerler ile ölçülen değerlerin aylara göre değişimi	45
Şekil 5.18. Rohwer denklemi ile hesaplanan ve MGM tarafından ölçülen Etp miktarı arasındaki mutlak hata grafiği	45
Şekil 5.19. 1 nolu denklem ile yapılan E tahminin mutlak hata grafiği.....	50
Şekil 5.20. 2 nolu denklem ile yapılan E tahminin mutlak hata grafiği.....	50
Şekil 5.21. 3 nolu denklem ile yapılan E tahminin mutlak hata grafiği.....	51
Şekil 5.22. 10 nolu denklem ile yapılan Etp tahminin mutlak hata grafiği.....	52
Şekil 5.23. 11 nolu denklem ile yapılan Etp tahminin mutlak hata grafiği.....	52
Şekil 5.24. 13 nolu denklem ile yapılan Etp tahminin mutlak hata grafiği.....	53

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Türkiye'nin su kaynakları potansiyeli [15].....	4
Çizelge 2.2. Çeşitli ortamlarda suyun ortalama kalış süreleri [30]	8
Çizelge 3.1. Serbest su yüzeylerinde buharlaşmanın enlem derecesine göre değişimi [37].....	12
Çizelge 3.2. Blaney-Criddle denkleminde kullanılan p değerleri [20]	29
Çizelge 3.3. Blaney-Criddle denkleminde kullanılan k_1 ve k_2 değerleri [20].....	29
Çizelge 5.1. MGM'den temin edilen 2000-2021 aralığındaki verilerin istatistikleri.	35
Çizelge 5.2. MGM'den temin edilen 2016-2021 aralığındaki E ve Etp değerlerinin istatistikleri.....	36
Çizelge 5.3. MGM'den temin edilen veriler ile Amprik eşitlikler ile hesaplanan E ve Etp miktarları arasındaki mutlak hata değerlerinin yıllık ortalaması. ..	46
Çizelge 5.4. SPSS programından alınan, verilerin korelasyon Çizelgesi	47
Çizelge 5.6. Açık su yüzeyi buharlaşma miktarının hesabı için türetilen denklemler.	48
Çizelge 5.7. Etp miktarının hesabı için türetilen denklemler.....	49
Çizelge 5.8. MGM'den temin edilen veriler ile türetilen denklemler ile hesaplanan E ve Etp miktarları arasındaki mutlak hata değerlerinin yıllık ortalaması.....	53

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

- Ew : doygun buhar basıncı
Ea : gerçek buhar basıncı
ew-ea : basınç farkı
T : sıcaklık
B : atmosferik, barometrik veya aktüel basınç
RH : bağıl(nispi) nemi
RS : dalga radyasyonu
Rs : yeryüzüne ulaşan kısa dalga radyasyon miktarı
Rn : bitki yüzeyindeki net radyasyon miktarı
Rns : kısa dalga net radyasyon miktarı
Rnl : uzun dalga net radyasyon miktarı
Ra : atmosferin dış yüzeyine ulaşan radyasyon miktarı
W : rüzgar hızı
S : güneşlenme süresi
N : ayın gün sayısı
Gu : gün uzunluğunu
D : gündüz süresini
N : eleman sayısı
G : toprak ısı değişim yoğunluğunurolojik
 δ : sıcaklık ve doygun buhar basıncı arasındaki ilişkinin eğimi
 γ : pisokometrik sabiti
 γ_0 : modifiye pisokometrik sabiti
K : bitki cinsine bağlı bir katsayı
P : göz önüne alınan aydaki gündüz saatlerinin bütün yıldaki gündüz saatlerine oranı
f(ea) : buhar basıncı fonksiyonu

E : buharlaşma

Etp : potansiyel evapotranspirasyon

MGM : Meteoroloji Genel Müdürlüğü

SPSS : Statistical Package for the Social Sciences (Sosyal Bilimler İçin İstatistiksel Paket)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Bilindiği üzere su, insanoğlu başta olmak üzere bütün canlıların yaşayabilmesi için hayati bir öneme sahiptir. Hatta suya, yaşamın veya hayatın kendisi de denilmektedir [1]. Dünyada tatlı su miktarının sınırlı ve sabit olduğu bilinmektedir. Öte yandan nüfus artışı ve iklim değişikliğinin meydana getirdiği sorunlarla suya olan gereksinim ve talep gün gittikçe daha da artmaktadır [2].

Gezegeneimizin uzaydan çekilmiş uydu fotoğraflarına bakıldığında bir su dünyası şeklinde görülebilmektedir. Bu da gezegenimizde suyun hiç bitmeyecek ve tükenmeyecek bir kaynak olduğu yanılığını oluşturmaktadır. Halbuki fotoğraflarda görünen gezegenimizdeki toplam suyun %97.5'i tuzludur. Geri kalan suyun sadece %2.5'i tatlı sudur. Bu %2.5'lik tatlı suyun %70'i buz dağlarında olup ulaşılmasının güç olduğu zikredilmelidir. Günlük hayatımızda içme ve kullanma suyu olarak sarf ettiğimiz suyun dünyadaki %2.5'lik tatlı suyun sadece %30'unu oluşturmaktadır [3].

Hakeza Türkiye, su zengini bir ülke olarak zannediliyor olsa da aslında uluslararası ölçütlere göre Türkiye, su stresi çeken ülkeler arasındadır. Ülkedeki nüfus artışı, gelişen sanayi ve iklim değişikliğinin sebep olduğu kuraklık ve benzeri sorunlar ile yakın gelecekte su fakiri bir ülke haline gelmesi öngörülmektedir [4].

Su kaynakları mühendisliğinde, özellikle su yapıları ve sulama sistemlerinin planlama, tasarım ve işletmesi aşamalarında, buharlaşma miktarının ve bu kayıp miktarının belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Özellikle sıcak iklime sahip ve yağış miktarının düşük olduğu bölgelerde veya yaz aylarında, buharlaşma kayıplarının miktarı su kaynağının (göl, rezervuar vb.) su bütçesini önemli ölçüde etkilemekte ve yüzey kotlarının düşmesine neden olabilmektedir. Ayrıca, baraj ve diğer su yapılarının rezervuar hacminin tasarımında buharlaşma kayıplarının

belirlenmesi, su kaynaklarının daha etkin ve verimli bir şekilde kullanılması açısından önemlidir. Buharlaşma, meteorolojik ve atmosferik alanlarda da önemli bir faktördür ve bu nedenle buharlaşmanın doğru bir şekilde hesaplanması, su kaynaklarının yönetimi ve planlaması açısından kritik bir öneme sahiptir [5–10].

Buharlaşma miktarına etki eden önemli faktörler olarak bilinen hava sıcaklığı, güneş radyasyonu, rüzgar dalgası, basınç farkı ve havadaki nem oranının bir havzada nasıl etkili olduğu ve buharlaşma miktarı üzerindeki etkilerin değerlendirilmesi gerekmektedir.

Bu çalışma Karabük ilinde meydana gelecek buharlaşma miktarının ampirik formüller ile tahmin etmeyi ve gerçek ölçümler ile karşılaştırarak en doğru sonucu veren ampirik formülü tespit etmeyi amaçlamıştır. Ayrıca ampirik formüllerden daha az hata ile Karabük ili için yeni denklemlerin geliştirmesini hedeflemiştir.

Bu tez çalışması altı bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde tez konusu tanıtılmış ve çalışmanın amacı belirtilmiştir. İkinci bölümde dünya ve Türkiye'deki su potansiyeli ve hidrolojik çevrim ile ilgili bilgiler sunulmuştur. Üçüncü bölüm, buharlaşma başlığı altında buharlaşma miktarını etkileyen faktörler, çeşitleri, azaltma teknikleri, ölçüm yöntemleri ve tahmin metotları ile ilgili bilgileri ihtiva ederken dördüncü bölümde çalışma alanı tanıtılmıştır. Beşinci bölümde bulgular ve tartışma yer alırken altıncı bölüm sonuçlar ve önerileri içinde bulundurmaktadır.

BÖLÜM 2

GENEL BİLGİLER

2.1. SU POTANSİYELİ

Dünyanın su kara oranı $\frac{3}{4}$ olmasına rağmen su kaynaklarının tamamı insanların kullanımı için uygun değildir. İnsanlar ve diğer canlıların faydalanabileceği su miktarı, gezegendeki suların tamamına oranladığında çok küçük bir değer ifade ettiği bilinmektedir. Dünyadaki toplam suyun %97,5'inin tuzlu, %2,5'i tatlı sudur. Tatlı suyun da %70'i Antraktika ve Greenland'da buz kütleler halinde olup bir kısmı eriyerek okyanusa karışmaktadır. Dünyadaki toplam %2,5'lik tatlı suyun sadece %30'u insanların kullanımı için uygundur [11].

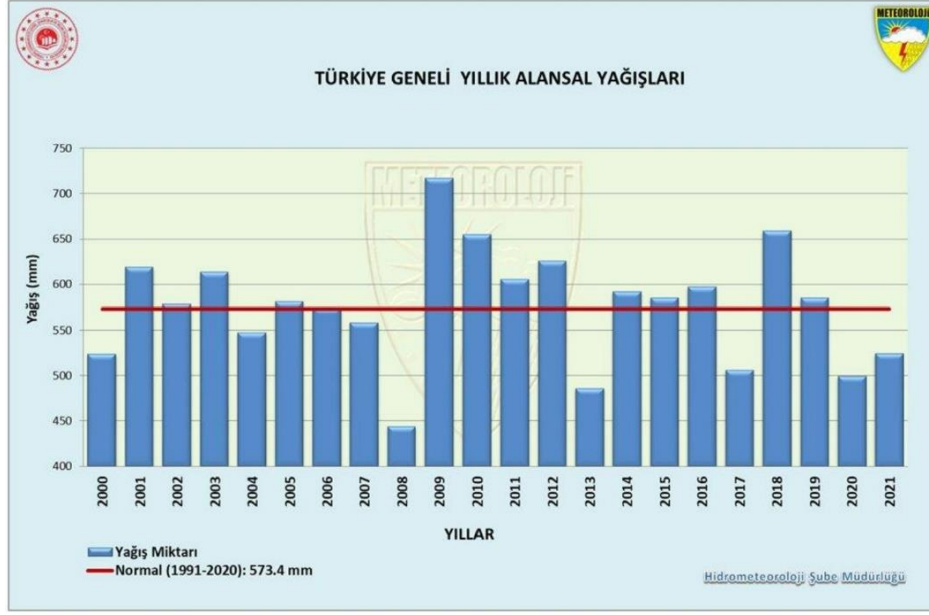
Yıllık yenilenebilir tatlı su miktarı, bir ülkede su kaynaklarının yeterli olup olmadığını açıklar. Ülkeler, su kaynakları bakımından uluslararası ölçütlere göre kategorize edilmektedir. Yılda kişi başına düşen yenilenebilir tatlı su miktarı 1000 m³'ün altında olan ülkeler “su fakiri”; 1000 – 3000 m³ arasındakiler “su sıkıntısı veya su stresi çeken ülke”; 10.000 m³ ve üzerinde olan ülkeler ise “su zengini ülke” olarak nitelendirilmektedir [12,13].

Üç tarafı denizlerle çevrili olan Türkiye, içinde bulundurduğu göl ve nehir sayısı açısından şanslı bir coğrafyada yer almaktadır [14]. Fakat Türkiye, su kaynakları bakımından kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su miktarı nüfusun artmasıyla gün gittikçe azalan bir ülkedir. Ülkede bu su miktarı 2000 yılında 1652 m³, 2009 yılında 1544 m³, 2017 yılında 1400 m³, 2020 yılında 1346 m³ ve 2030 yılında kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su miktarı 1000 m³'ün altına düşeceği tahmin edilmektedir [12,15].

Türkiye’de km^2 başına düşen yıllık ortalama yağış 574 mm olup (Şekil 2.1), yıllık yağış miktarı 450 milyar m^3 ’e karşılık gelmektedir. Ülkede yıllık kullanılabilir yüzey suyu 94 milyar m^3 ve yıllık çekilebilir yeraltı suyu miktarı ise 18 milyar m^3 ’tür. Böylece Türkiye’nin toplam kullanılabilir su miktarı, yıllık kullanılabilir yüzey suyu ve çekilebilir yeraltı suyunun toplamından elde edilerek 112 milyar m^3 olarak hesaplanmaktadır. Günümüzde bu su miktarınının 57 milyar m^3 ’ü kullanılmaktadır [15,16]. Çizelge 2.1’de bu veriler daha basit bir şekilde anlaşılmaktadır.

Çizelge 2.1. Türkiye’nin su kaynakları potansiyeli [15].

Yıllık ortalama yağış	574 mm/yıl
Türkiye’nin Yüzölçümü	783.577 km^2
Yıllık yağış miktarı	450 milyar m^3
Yüzey Suyu	
Yıllık yüzey akışı	186 milyar m^3
Kullanılabilir yüzey suyu	94 milyar m^3
Yeraltı Suyu	
Yıllık çekilebilir suyu	18 milyar m^3
Toplam kullanılabilir su (net)	112 milyar m^3
Ülkenin Gelişme Durumu	
Sulama suyu	44 milyar m^3
İçme – kullanma ve sanayi suyu	13 milyar m^3
Toplam kullanılan su	57 milyar m^3



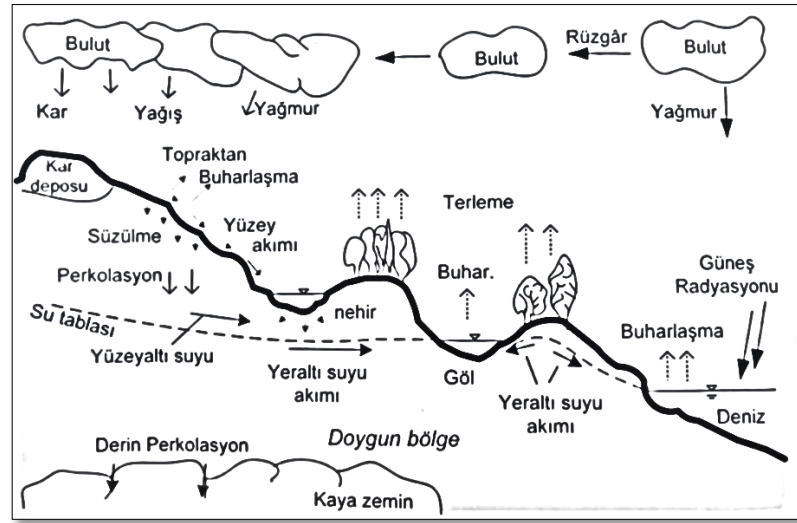
Şekil 2.1. Türkiye geneli yıllık alansal yağışları [17].

Türkiye'nin su kaynakları potansiyeli, ayrıca nüfus artışı, şehirleşme ve sanayileşme ile birlikte meydana gelen iklim değişikliği göz önüne bulundurulduğunda, ülkedeki su kaynaklarının izlenmesi, araştırılması ve yönetimi çok önem taşımaktadır.

Buharlaştırma yoluyla kaybolan su miktarının tahmini de, su yönetimi, sulama uygulamalarının planlanması, hidrolik tasarımlarında ve su kaynaklarının kıt olduğu bölgelerde çok önem taşıdığı literatürde sıkça vurgulanmaktadır [5,18,19].

2.2. HIDROLOJİK ÇEVİRİM

Dünya'da su, sürekli hareket halinde olup hal değiştirmektedir. Su, dünyada sıvı, gaz ve katı halde bulunmaktadır. Yeryüzünde çeşitli koşullar altında suyun buharlaşarak atmosfere yükselmesi, ardından atmosferde gerekli koşullar sağlandığında yoğunlaşıp yeryüzüne tekrar yağış olarak dönmesi "hidrolojik çevrim" veya "hidrolojik döngü" olarak tanımlanmaktadır [20,21]. Hidrolojik çevrimin mekanizması Şekil 2.2'de sunulmuştur.



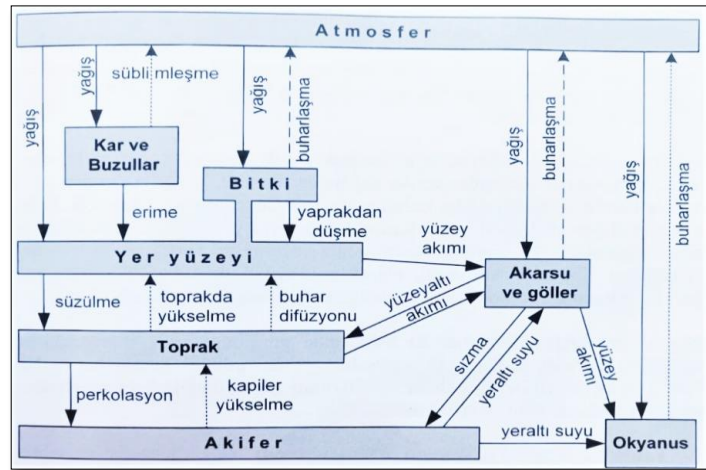
Şekil 2.2. Hidrolojik dolaşım [20].

Su bulunduğu ortamların (deniz, göl, akarsu veya yeryüzü) yüzeylerinden sürekli bir şekilde buharlaşmaktadır. Başka bir deyişle sıvı halinde bulunan su molekülleri yeterli enerjiye sahip olduklarında gaz haline geçmektedirler [22]. Suyun gaz haline su buharı denilmekte ve güneşten gelen enerji ve bazı karmaşık dinamikler sayesinde ısınarak yükselmektedir. Su buharları yükseldikçe hava sıcaklığın azalması sebebiyle su damlacıkları yoğunlaşmaktadır. Gözle görünmeyecek ölçüde küçük hava ve toz parçacıkları etrafında yoğunlaşan su buharları, bulutları oluşturmaktadır [23]. Geldiğimiz bu noktada teknik olarak su, gaz halinden tekrar sıvı haline döndüğünü söylemek mümkündür. Eğer hava sıcaklığı yeteri kadar düşük ise minik buz kristallerine de dönüşebilmektedir. Bulutlar rüzgar etkisiyle taşınmakta [24] ve tabii olarak bu hareket esnasında su damlacıkları da taşınmış olmaktadır. Bu su damlacıkları yeterli ağırlığa ulaştıklarında ise yağış olarak yeniden yer yüzüne kimi zaman denize veya göllere kimi zaman ise karaya veya bir buz dağına düşebilmektedir. Hava sıcaklığının yeteri kadar düşük ve diğer koşullar da uygunsa, yağın yağış kar şeklinde de yeryüzüne yağabilmektedir [20,25].

Yağış, karaya yağdığında eğer bölgede bitki örtüsü varsa bu durumda yağışın bir kısmı bitkilerin yaprakları üzerinde kalabilmektedir. Bitkiler tarafından tutulan yağışın bu kısmına tutulma denilmektedir. Yağışın bu kısmı yüzeye ulaşmadan buharlaşıp atmosfere geri dönmektedir [25,26].

Karaya ulaşan yağışın bir diğer kısmı ise yüzeydeki çukurları ve boşlukları doldurarak zemini doymun hale getirmektedir. Ardından zeminin geçirimsizlik durumuna bağlı olarak ya yüzeyde hareket ederek yüzey akışını oluşturur, yada toprağa girerek süzülme oluşturur. Süzülen suyun bir kısmı yeraltındaki boşlukların durumuna ve zeminin geçirimsizlik özelliğine bağlı olarak su, yeraltı su tablası (doymun bölge yüzeyi) üzerinden yatay olarak yüksek seviyelerden düşük seviyelere doğru hareket eder. Hidrolojide bu olay yüzeyaltı akışı olarak adlandırılmaktadır [27]. Süzülen suyun diğer kısmı ise, yeraltı su tablasına ulaştıktan sonra doymun bölgeye sızarak yatay hareket etmeye devam eder ve böylece taban akışı veya yeraltısuyu akışı olarak adlandırılan olay gerçekleşmektedir. Yeryüzü ve yeraltı akışı, suyu tekrar denizlere ve okyanuslara bırakırlar. Bu tertiple denizlerden başlanan ve buharlaşma yoluyla atmosfere iletilen su miktarı denizlere ulaşarak bir hidrolojik döngüyü tamamlamaktadır [20,26].

Buharlaşma bazen akarsular denize veya okyanuslara ulaşmadan bazen de bitki örtüsünden gerçekleşebilmektedir. Bitkiler yaşamları için gerekli suyu zeminden alıp fotosentez yaparak geri kalan suyu yaprakları vasıtasıyla atmosfere bırakmaktadırlar. Bu olay hidroloji’de Terleme olarak adlandırılmaktadır [20,28]. Hidrolojik çevrimin mühendislik gösterimi Şekil 2.3’te gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Hidrolojik döngünün mühendislik gösterimi [20].

Hidroloji’nin temel kavramı olan Hidrolojik çevrimin veya hidrolojik döngünün bir başlangıcı yoktur ve bu döngünün anlaşılması anlatıldığı kadar basit olmamaktadır.

Öyle ki bu döngü bazen dakikalar bazen de aylar veya yıllar sürebilmektedir. Örneğin, hava sıcaklığın çok yüksek olduğu bir ortamda yağış sırasında buharlaşma gerçekleşebilmektedir. Öte yandan yağış, hava sıcaklığının çok düşük olduğu buz dağları üzerine yağdığında, yağın su, buz haline dönüşür ve böylece aylar veya yıllarca buz halinde kalabilmektedir. Buzların erimesi ve tekrar buharlaşarak atmosfere karışması uzun yıllar alabilmektedir [20,25,29]. Suyun çeşitli ortamlarda ortalama kalış süreleri Çizelge 2.2’de görülmektedir.

Çizelge 2.2. Çeşitli ortamlarda suyun ortalama kalış süreleri [30].

Suyun bulunduğu ortam	Ortalama kalış süresi
Biyosferik (canlı organizmalarda)	1 hafta
Atmosferik	1,5 hafta
Akarsular	2 hafta
Toprak nemi	2 hafta – 1 yıl
Bataklık	1 – 10 yıl
Göl ve rezervuarlar	10 yıl
Okyanus ve denizler	4000 yıl
Yeraltı suyu	2 hafta – 10.000 yıl
Buzul ve donmuş toprak	1000 – 10.000 yıl

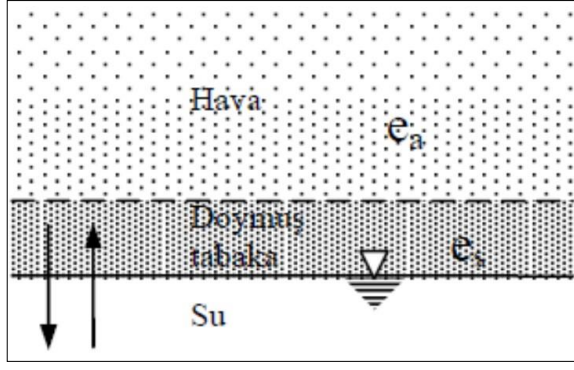
BÖLÜM 3

BUHARLAŞMA

Buharlaşıma, hidrolojik çevrimin en önemli bölümünü oluşturmaktadır [8,31] ve dünyada sıvı ve katı halde, farklı biçimlerde ve koşullarda bulunan suyun meteorolojik ve diğer faktörler etkisi ile gaz haline dönüşü olarak tanımlanmaktadır [6,32,33]. Su ve topraktan meydana gelen su kaybı buharlaşma veya evaporasyon olarak tanımlanırken bitkilerin yaprakları yoluyla atmosfere bırakılan su kaybı ise terleme veya transpirasyon olarak tanımlanmaktadır. Su, toprak ve bununla birlikte bitkilerden meydana gelen toplam bu su kaybı Evapotranspirasyon olarak ifade edilmektedir [6,19,34].

Atmosferden su yüzeyine ve su yüzeyinden atmosfere doğru sürekli geçen moleküller mevcuttur. Su yüzeylerinden atmosfere geçen moleküllerin atmosferden su yüzeyine geçen moleküllerden fazla olduğu durumda buharlaşmanın gerçekleştiği kabul edilmektedir [19].

Suyun sıvı halden gaz haline geçişi sırasında Şekil 3.1'de görüleceği üzere su yüzeylerindeki buhar basıncı atmosferdeki buhar basıncından fazla olduğu anlaşılmaktadır. Bu durumda su yüzeyindeki moleküller yeterli kinetik enerjiye sahip olur ve böylece su yüzeylerindeki moleküller kendilerini tutmaya çalışan diğer moleküllerin çekimi ve etkisinden kurtulup atmosfere doğru yükselmektedir [9,10]. Su yüzeylerinden 1gram suyun buharlaşabilmesi veya gaz haline geçebilmesi için 539 – 597 kalorilik ısı enerjisine ihtiyaç duymaktadır [35].



Şekil 3.1. Su yüzeylerinden meydana gelen buharlaşma olayı [26,36,37].

Bu bölümde buharlaşmayı etkileyen çeşitli faktörler, türleri, azaltma yöntemleri, ölçüm ve tahmin metotları ile ilgili çok yönlü bilgiler sunulmuştur.

3.1. BUHARLAŞMAYI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Hidrolojik olaylar, bir döngünün içerisinde olduğundan her bir bölümü çeşitli faktörlerden etkilenebilmektedir. Buharlaşmayı etkileyen ana faktörler, meteorolojik, coğrafik ve topoğrafik, suyun kalitesi ve bulunduğu ortam şeklinde üç ana başlık altında dikkate alınabilmektedir [6,37,38].

3.1.1. Meteorolojik Faktörler

Havanın buhar basıncı, güneş radyasyonu, sıcaklık, rüzgar ve havanın nem oranı buharlaşmaya etki eden önemli meteorolojik faktörlerdir [6].

3.1.1.1. Havanın Buhar Basıncı

Buharlaşma başlığı altında da bahsedildiği gibi su yüzeylerindeki buhar basıncının atmosferdeki (su yüzeylerin üstünde) buhar basıncından fazla olduğu süreçte buharlaşma olayı devam etmektedir. Bu iki basıncın eşit olduğu durumda buharlaşma durur. Buradan su yüzeylerindeki buhar basıncının yüksek olduğu durumda buharlaşma miktarının arttığı sonucu çıkarılabilmektedir [35,37].

3.1.1.2. Güneş Radyasyonu

Sıcaklığın başlıca kaynağının güneşten gelen radyasyon olduğu bilinmektedir. Su molekülleri buhar haline geçebilmek için gerekli enerjiyi güneşten almaktadırlar. Güneşten gelen radyasyon yeryüzüne doğrudan temas ettiği durumda buharlaşma miktarı artar. Gökyüzünde bulutların araya girmesiyle güneşten gelen radyasyonun yeryüzüyle teması kesildiğinden bu durum buharlaşma miktarının azalmasına sebep olabilmektedir [39].

3.1.1.3. Hava Sıcaklığı

Buharlaşmayı en çok etkileyen meteorolojik faktör olarak kabul edilen havanın sıcaklığıdır. Öyle ki buharlaşmanın yıllık ve günlük değişimleri hava sıcaklığının yıllık ve günlük değişimlerine çok benzemektedir. Hava sıcaklığının düşük olduğu dönem veya saatlerde buharlaşma miktarının minimum, ve hava sıcaklığının yüksek olduğu dönem veya saatlerde buharlaşma miktarının da maksimum olduğu gözlemlenmektedir [35].

3.1.1.4. Havanın Hareketi (Rüzgar)

Su yüzeylerinden gaz haline geçmiş su moleküllerinin, su yüzeylerinden uzaklaşıp atmosfere karışabilmesi havanın hareketi (rüzgar) vesilesiyle gerçekleşmektedir. Buharlaşmaya etki eden meteorolojik faktörlerden biri olan rüzgar, buharlaşma olayının devam edebilmesi için gereklidir. Hava hareketinin (rüzgarın) hızı ne kadar fazla ise buharlaşmanın da o kadar fazla olduğu görülmektedir [36].

3.1.1.5. Hava Basıncı

Hava basıncının su yüzeylerinde yüksek olması, gaz haline geçmiş su molekülleri, sayısı fazla olan hava moleküllerine çarparak tekrar suya karışmasına ve bu durum da buharlaşma miktarının düşmesine neden olabilmektedir. Yükseklik azaldıkça hava basıncı artar ve yükseklik arttıkça hava basıncı düşmektedir. Yüksekliğin fazla

olduğu ortamda hava basıncı çok düşük olduğundan bu faktörün etkisi çok düşük olmaktadır [35,37].

3.1.1.6. Havanın Nem Oranı

Havada bulunan su buharları nem olarak tanımlanmaktadır. Uluslararası literatürde havadaki nem ile buharlaşma oranı arasında ters bir ilişkinin olduğu zikredilmektedir. Nem oranının yüksek olduğu ortamda buharlaşma oranı düşük olmaktadır. Hava, belirli bir sıcaklıkta yalnızca belirli miktarda su buharı tutmaktadır. Nemin yüksek olduğu yağışlı mevsimlerde hava, ya suya doymuştur veya az da olsa biraz daha su tutabilir anlamına gelmektedir. Bu nedenle havada nem oranının yüksek oluşu buharlaşmayı yavaşlatmaktadır [40,41].

3.1.2. Coğrafik ve Topoğrafik Faktörler

Her bölgenin güneşe karşı konumu, yüksekliği vd. koşullarının birbirine göre değişiklik gösterebildiği bilinmektedir. Dolayısıyla coğrafik ve topoğrafik koşullar buharlaşma miktarında önemli bir etkiye sahiptir ve mutlaka dikkate alınmalıdır [35].

3.1.2.1. Bölgenin Enlem Derecesi

Buharlaşmanın miktarı, bölgenin enlem derecesine göre değişiklik gösterebildiği bilinmektedir. Açık su yüzeylerinde meydana gelen buharlaşmanın enlem derecelerine göre değişimi Çizelge 3.1’de sunulmuştur.

Çizelge 3.1. Serbest su yüzeylerinde buharlaşmanın enlem derecesine göre değişimi [37].

Bölgenin Enlem Derecesi	Ortalama Buharlaşma (mm/yıl)
0° - 10° (Ekvator bölgesi)	1150
10° - 30° (Alize bölgesi)	2250

30° - 40°	1600
40° - 50°	1000
50° - 60°	450

3.1.2.2. Bölgenin Kotu

Bölgenin yüksekliği arttıkça hava sıcaklığı düştüğünden buharlaşma miktarının da düşmesi gerekmektedir. Öte yandan yükseldikçe hava basıncı düştüğünden buharlaşma miktarının artması gerekmektedir. Bu iki durum beraber düşünüldüğünde, azalan miktarın hava basıncından ileri gelen çoğalmayı karşılayamadığı ve buharlaşmanın az bir miktar arttığı kabul edilmektedir [35,37].

3.1.2.3. Bakı

Bölgenin güneşe karşı konumu buharlaşma miktarında önemli etkiye sahip bir diğer faktördür. Kuzey ve doğuya bakan bölgeler güneş ışınlarına daha az maruz kaldığından buharlaşma miktarı düşük, güney ve batıya bakan bölgeler ise güneş ışınlarına daha fazla maruz kaldığından buharlaşma miktarının da fazla olduğu gözlenmiştir [36].

3.1.3. Suyun Kalitesi ve Bulunduğu Ortam

Su kütlesinin büyüklüğü, derinliği, kalitesi, yüzey alanı ve hareketliliği buharlaşma miktarı üzerine etki etmektedir. Bu etkiler aşağıda kısaca izah edilmiştir.

3.1.3.1. Su Yüzey Alanının Büyüklüğü

Buharlaşmanın bir yüzey olayı olduğu tanımıyla anlaşılmaktadır. Suyun yüzey alanı ile buharlaşmanın hızı birbiriyle doğru orantılıdır. Suyun yüzey alanının büyük olması, buharlaşma hızını arttırmaktadır [39,40].

3.1.3.2. Su Kütlesinin Büyüklüğü

Büyük kütleyle sahip veya derin sular, sıcaklık değişimlerini geç hissettikleri için sığ sulara göre yazın daha az, kışın daha fazla buharlaşma olayına maruz kalmaktadırlar [37].

3.1.3.3. Suyun Tuzluluk Durumu

Buharlaşma miktarının, tatlı sularda fazla, tuzlu sularda ise daha az olduğu literatürde vurgulanmıştır. Suda erimiş tuzlar buhar basıncının azalmasına sebep olmaktadır [42].

3.1.3.4. Suyun Kirlilik ve Bulanıklılık Durumu

Göl ve diğer durgun su kütlelerinin içinde toz parçacıkları, yağ ve diğer yabancı maddeler buharlaşma miktarının azalmasına sebep olmaktadır [43].

3.1.3.5. Suyun Hareketi

Hareketli sular, durgun sulara göre %7 - %9 oranında daha fazla buharlaşma yaptığı literatürde vurgulanmaktadır [35,37].

3.2. BUHARLAŞMA TÜRLERİ

Yüzey çeşidine göre literatürde buharlaşma türlerine rastlanmak mümkündür. Yüzey tipine göre buharlaşma, su, kar, zemin ve bitki ile örtülü yüzeyler olmak üzere çeşitlendirilebilmektedir.

3.2.1. Zemin ve Kar Yüzeylerinden Buharlaşma

Zemin yüzeyinden meydana gelen buharlaşma, zeminin nem oranına, yüzeyden yeraltısuyunun derinliğine, zeminin geçirimsizlik vd. özelliklerine bağlı olarak buharlaşma oranında değişiklikler söz konusu olabilmektedir. Zeminin üst kısmında

(1 – 3 m) yeterli suyun bulunması durumunda zeminden meydana gelen buharlaşma miktarı su yüzeylerinden meydana gelen buharlaşma miktarına yakın olabilmektedir. zemin yüzeyinin 1 – 3 m altında su ve nemin bulunmadığı takdirde buharlaşma miktarı ihmal edilebilecek ölçüde düşük olmaktadır.

Süblimasyon olarak bilinen olay, suyun katı halinden doğrudan gaz haline geçmesidir ve kar ile buz yüzeylerinden meydana gelen buharlaşma da süblimasyon olarak bilinmektedir. Meteorolojik faktörlere bağlı olarak özellikle rüzgar hızının yüksek olduğu durumda kar yüzeylerinden meydana gelen buharlaşma miktarı günde 5 mm, ayda ise maksimum 25 – 30 mm'ye kadar çıkabilmektedir. Kar yüzeylerinden meydana gelen buharlaşma miktarı, su yüzeylerinden meydana gelen buharlaşmanın %20 - %25'i kadar olduğu literatürde zikredilmiştir [36,44].

3.2.2. Terleme ve Tutma

Bitkiler, zeminden kökleri vasıtasıyla kendi yaşamları ve büyümeleri için su almaktadırlar. Aldıkları suyun küçük bir kısmını fotosentez için içlerinde tutarlar, geri kalan büyük bir kısmını ise büyümeleri ve yaşamları için kullandıktan sonra yaprakları yoluyla geri atmosfere bırakırlar. Bu olay hidrolojide terleme olarak bilinmektedir. Bitkilerin terleme yoluyla atmosfere bıraktıkları bu su miktarı, buharlaşmanın bir diğer çeşidi olarak sayılmaktadır.

Tutma ise yağışın zemin yüzeyine ulaşmadan atmosfere geri dönmek üzere bitkilerin yaprakları üzerinde tutulan kayıp su miktarıdır. Tutma yoluyla kaybolan bu su miktarı ormanlık alanlarda yağışın üçte birine ulaşabildiği literatürde belirtilmiştir. Ayrıca bitkiler tarafından alıkonan bu kayıp miktar, bitkilerin türüne, sıklık durumuna, yağış hızına ve süresine göre büyük farklılıklar gösterebilmektedir [44].

3.2.3. Su Yüzeylerinden Buharlaşma

Buharlaşmanın büyük oranı açık su yüzeylerinden (deniz, göl, akarsular, baraj rezervuarları) gerçekleştiğini söylemek mümkündür. Meteorolojik ve yukarıda

belirtilen diğerk faktörlere bağılı olarak açık su yüzeylelerinden günde 1 – 10 mm arasında değışen buharlaşma miktarından söz edilmektedir [36].

3.2.4. Evapotranspirasyon (Buharlaşma – Terleme)

Evapotranspirasyon, zemin, su, kar ve bitki örtülü yüzeylelerden meydana gelen toplam buharlaşma miktarıdır. Evapotranspirasyon değıerleri, potansiyel ve gerçek evapotranspirasyon olmak üzere iki açıdan dikkate alınabilmektedir. Zeminde yeterli su ve nem bulunması halinde gerçekleşen buharlaşma miktarına potansiyel evapotranspirasyon, zeminde yeterli nem ve suyun bulunmadığı takdirde ise nem oranında gerçekleşen buharlaşmaya gerçek buharlaşma denilmektedir. Nemin bittiğı ve zeminin kuruduğı noktada gerçek evapotranspirasyon sona ermektedir [44].

3.3. BUHARLAŞMA AZALTMA YÖNTEMLERİ

Su kaynaklarının daha verimli kullanılması ve işletilmesi bakımından buharlaşma miktarının azaltılması literatürde çalışmalarca elzem olduğı belirtilmiştir. Buharlaşma miktarını azaltmak için çeşitli girişimlere ve yöntemlere başvurulmuştur. Su yüzey alanının azaltılması, su yüzeyinin mekanik örtüler ile kapatılması ve ilgili kimyasalların su yüzeylelerine kullanılması, buharlaşma miktarını azaltma yöntemlerinin başında gelmektedir.

3.3.1. Su Yüzeyi Alanının Azaltılması

Su yüzeylelerinde buharlaşmanın hızı ve miktarı bulunduğı su yüzeyinin genişliğine ve derinliğine bağılıdır. Tıpkı giysilerimizi kurutmak için daha geniş bir alana yaydığımız gibi, su yüzey alanlarının genişliği arttıkça buharlaşmanın miktarı ve hızı da artmaktadır. Bu sebeple baraj rezervuarlarının planlama çalışmalarında gölün derin ve yüzey alanının dar olması tercih edilmektedir [45].

3.3.2. Su Yüzeylerinin Örtülmesi

Buharlaşma miktarına etki eden faktörler göz önüne bulundurulduğunda, su yüzeylerinden buharlaşma miktarını azaltabilmek için su yüzeyi ile hava arasındaki temasın mümkün olduğunca azaltmakla veya tamamen kesmekle mümkün olduğu anlaşılmaktadır. Bu doğrultuda günümüze kadar buharlaşma miktarını azaltmaya yönelik çeşitli yöntemler ortaya konmuş ve gün gittikçe daha etkili ve ekonomik yöntemler geliştirilmektedir. Su yüzeyi ile hava arasındaki temasın azaltılması günümüzde mekanik, kimyasal ve biyolojik örtüler olmak üzere üç ana grupta dikkate alınabilmektedir.

Baraj rezervuarlarında son yıllarda gölge topu, yüzer güneş paneli, plastikten yapılmış diğer yüzer kaplar ve örtüler buharlaşma miktarını azaltmak amacıyla sıkça kullanılmaktadır. Yüzey alanı küçük olan rezervuarlarda ise su yüzeyinin tamamen örtülmesine de rastlanmak mümkündür [46].

3.3.3. Gölge Toplarının Kullanımı

Gölge topları 10 cm çapında, rüzgâr etkisiyle savrulmamak üzere içlerinde bir miktar su konularak kullanıma sunulmaktadır. Bu toplar karbon siyahı renginde ve polietilen malzemedен yapılmaktadırlar [47]. Gölge topları ilk olarak Kaliforniya eyaletinde daha sonra çeşitli ülkelerde baraj rezervuarlarında buharlaşmayı azaltmak ve su kalitesinin muhafaza edilmesi amacıyla kullanılmış ve performansı denenmiştir. Çeşitli meteorolojik ve coğrafik şartlar altında gölge topları üzerinde gerçekleştirilen testler, bu topların %45 - %90 arasında değişik oranlarda buharlaşmayı azalttığını göstermiştir [48,49]. Su kalitesinin muhafaza edilmesinde bu topların önemli bir rol oynadığı bu testlerin bir diğer ortak sonucu olarak rapor edilmiştir.

3.3.4. Güneş Panellerinin Kullanımı

Güneş enerjisi yenilenebilir bir enerji kaynağı olması sebebiyle de son yıllarda dünya genelinde kullanımı artmakta olan sistemlerdir. Diğer enerji kaynaklarından farklı olarak güneş enerjisi her zaman ve her yerde ulaşılabilir konumda olduğu bu

sistemlerin kullanım etkinliğini arttırmıştır. Güneş panellerinin en büyük dezavantajlarından biri çok fazla alan gerektirmeleridir. Su yüzeyleri üzerinde güneş panellerinin kullanımı bu durumu sorun olmaktan çıkarmaktadır. Böylece yüzer tip güneş panelleri, gelir getirmeyen su yüzeylerinden ek gelir sağlamaktadır. Ayrıca baraj rezervuarlarında, kanal üstü ve diğer su yüzeyi üzerinde güneş panellerinin ürettiği elektrik miktarı, düz arazilerde üretilen elektrik miktarına kıyasla %11 civarı daha fazla olduğu çalışmalarca tespit edilmiştir [50]. Güneş enerjisinin genel olarak başlangıç maliyeti yüksek olsa da ileriye dönük bakıldığında tasarruf sağlama noktasında oldukça avantajlı sistemler olduğu söylenebilir [51].

3.3.5. Kimyasalların Kullanımı

Buharlaşma miktarını azaltmak amacıyla sıkça kullanılan bir diğer yöntem kimyasallardır. Bu amaçla Hegzadekanol, Oktadekanol, stil stril alkol ve lino oksit sıkça kullanılan kimyasallar olarak bilinmektedir. Bu kimyasallar su yüzeyi ile hava arasında ince bir tabaka oluşturarak buharlaşmayı azaltmaktadır. Ancak yağış, rüzgâr ve su dalgası ile bu kimyasalların oluşturduğu ince tabaka bozulmaktadır. Dolayısıyla oluşturulan bu tabaka bozuldukça su yüzeyi üzerine tekrar tekrar uygulanmalıdır. Bu kimyasallar tatsız, renksiz ve kokusuz olmakla birlikte baraj rezervuarlarında kullanılması durumunda suyun kalitesine ve canlılara zarar vermemelidir [48,52].

3.3.6. Biyolojik Örtülerin Kullanımı

Biyolojik örtüler de buharlaşma azaltma yöntemlerinin bir diğer alternatifidir. Bu amaçla su üzerinde yüzen bitkiler (Nilüfer, Su Mercimeği) veya geniş yapraklara sahip ağaçların yaprakları (Palmiye Yaprakları) kullanılmaktadır. Su mercimeği bitkisinin buharlaşmayı %10 ve palmiye yapraklarının buharlaşmayı %55'e kadar azalttığı test edilmiştir. Ancak bazı yüzen bitkiler su kalitesine ve insan sağlığına zarar verebilir. Bu nedenle baraj rezervuarlarına kullanılmadan önce kullanım etkinliği araştırılmalıdır. King Saud Üniversitesinde Palmiye yapraklarının buharlaşmayı azaltmadaki performansı ve kullanım etkinliği test edilmiştir. Deney sonuçları bu yaprakların buharlaşmayı %55 - %58 oranında azalttığı, su kalitesine ve

insan sağlığına herhangi bir etkisi olmadığını kanıtlamıştır. Ayrıca Palmiye yaprakları, kurak ve sıcak hava koşullarında dayanıklı olduğu için buharlaşmayı azaltmak amacıyla açık su yzeylerinde kullanılması önerilmiştir [48].

3.4. BUHARLAŞMANIN ÖLÇÜLMESİ

Buharlaşma miktarının ölçülmesi diğer meteorolojik parametrelerin ölçümüne benzememektedir. İstasyonlarda yağış, rüzgar, sıcaklık vd. meteorolojik parametrelerin doğrudan otomatik bir biçimde ölçülmesi mümkündür. Fakat buharlaşmanın otomatik ölçülmesi, günümüzde güvenilir sonuçlar vermemektedir. Bu sebepten ötürü buharlaşmanın ölçümü, günümüzde atmometreler, buharlaşma tavaları ve tankları ile dolaylı olarak yapılmaktadır [53].

3.4.1. Atmometre

Atmometre, ıslak ve gözenekli yzeylerden buharlaşma miktarını ölçen bir cihaz olup genellikle çiftçiler tarafından kullanılmaktadır. Atmometrelerin, farklı biçimleri vardır. Livingstone atmometresi, Bellani atmometresi ve Piche tipi atmometre başlıca çeşitlerinden sayılmaktadır. Bu tip atmometrelerin birer görseli Şekil 3.2'de sunulmuştur [54].



Şekil 3.2. Soldan sağa sırasıyla; Bellani, Wild ve Piche tipi atmometre cihazları [55].

3.4.2. Buharlaşma Tavaları

Buharlaşmayı doğrudan ölçebilmek için en doğru yöntem, buharlaşma tavalarının kullanımını olduğu literatürde vurgulanmaktadır. Bu tavalar genellikle daire bazen de kare şeklinde bulunmaktadır. Buharlaşma tavalarının başlıca tipleri; ABD A Sınıfı Buharlaşma Tavasası, USGS Yüzer Tava, Modifiye A Sınıfı Buharlaşma Tavasası (ISI Pan) ve GGI-3000 Buharlaşma tavası (Rus Tipi) olarak sıralanabilmektedir. Bu tavalar meteorolojik şartlar başta olmak üzere diğer niteliklere göre kullanımını ülkeden ülkeye farklılıklar göstermektedir. Söz konusu bu tavalardan buharlaşmayı ölçerken aynı zamanda diğer meteorolojik parametreler de buharlaşmayı etkilediği sebebiyle ölçülebilmektedir [53].

3.4.2.1. ABD A Sınıfı Buharlaşma Tavasası (United States Class A Pan)

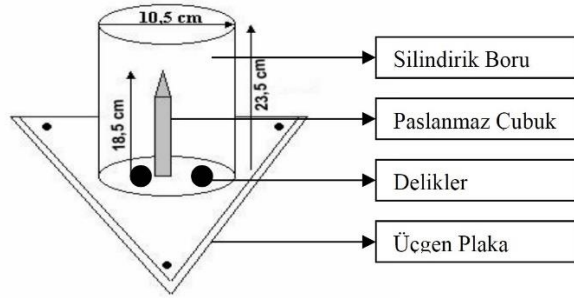
Amerika Birleşik Devletleri (ABD) A Sınıfı buharlaşma tavası, 25.4 cm derinliğinde ve 120.7 cm çapında, silindirik bir tasarıma sahiptir. Tavanın alt kısmını yağmur suyundan korumak için tava, çerçeveli ahşap bir platform üzerinde zeminden 3 – 5 cm yukarıda yerleştirilmektedir. Tava 0,8 mm kalınlığında galvanizli demir, bakır veya Monel metalden yapılmakta ve normalde boyasız bırakılmaktadır. A sınıfı buharlaşma tavasının bir görseli Şekil 3.3'te görülmektedir [37,54,56].



Şekil 3.3. ABD A sınıfı buharlaşma tavası

Bu tip buharlaşma tavaları kurulurken, ölçümlerin doğru olabilmesi için su terazisiyle yüzeyin düzgünlüğü kontrol edilir ve tavadaki su, kuşlar ve diğer hayvanlar tarafından dokunulmaması ve çöplerin tavaya girilmemesi için tavanın üstü ince kafes tel ile kapatılmalıdır. Ayrıca tavada 5 cm hava payının bırakılması da unutulmamalıdır.

Tavanın içerisinde suyun seviyesini gösteren ve suyun dalgasını kırmak için Nidogeyç denilen silindir şeklinde metalden yapılmış bir boru mevcuttur. Bu boru 10.5 cm çapında ve 23.5 cm uzunluğunda olup, üçgen bir plakanın ortasında kaynakla sabitlenmiştir. Havuzdaki su ile boru arasındaki ilişki, borunun içerisinde bulunan paslanmaz bir çelik tarafından sağlanmaktadır. Söz konusu bu platformun açıklayıcı bir resmi Şekil 3.4'te sunulmuştur [37].



Şekil 3.4. Tavada su seviyesini gösteren ve dalga kıran vazifesi gören platform (Nidogeyç) [37].

A sınıfı buharlaşma tavaşı, açık su kütlelerin üzerinde yüzer bir platform üzerine de konularak buharlaşma miktarı ölçülebilmektedir. Uluslararası Hidroloji Bilimleri Derneği ve Uluslararası Meteoroloji Örgütü (WMO) tarafından ABD A sınıfı buharlaşma tavaşı referans ölçüm yöntemi olarak kabul edilmektedir [54,57,58].

Bu tip tavalarda ölçümler düzenli olarak günlük belirlenen bir saatte (genellikle sabah saatleri 07:00 veya 09:00 arası) yapılmaktadır. Ölçümler, tavadan buharlaşma ile eksilen su miktarı her 24 saatin sonunda tekrar tavaya eklenerek gerçekleştirilmektedir. Ayrıca yağışlı günlerde tavaya yağmur suyunun eklendiği

durumda, eklenen su dikkate alınmalıdır. Ölçümün yapılacağı ortamda don tehlikesinin olmamasına dikkat edilmelidir [37].

3.4.2.2. GGI 3000 Rus Tipi Buharlaşma Tavas (Russian GGI-3000 Pan)

3000 cm² yüzey alanına ve 60 cm derinliğine sahip bu tip tavalar, silindirik bir tasarıma sahip, tabanı koni şeklindedir. Bu tavalar da tahta bir platform üzerine zeminden 7.5 cm yüksekliğinde kurulmaktadır. Günlük buharlaşma ölçümleri, tavanın ortasında yerleştirilmiş bir büret vasıtasıyla yapılmaktadır. Ayrıca buharlaşma ölçümleri yapılırken bu tip tavaların yanında bir de rus tipi GGI 3000 yağmur ölçeri kurulmaktadır [54,56].

3.4.3. Rus Tipi 20 m²'lik Buharlaşma Tankı (Russian 20 m² Evaporation Tank)

Bu tankların yüzey alanı 20 m² olduğundan bu isimle bilinmektedirler. Silindirik bir tasarıma sahip bu tankların derinliği 2 m, kalınlığı 4 – 5 mm, çapı 5 m olup, tabanı düzdür. Bu tanklar beyaz bir renge sahiptirler. Tavalarda meydana gelen buharlaşma miktarı, göl, rezervuar veya bir diğer su kütlelerinde gerçekleşen buharlaşma miktarından daha fazla olduğu literatürde deneylerce tespit edilmiştir. Bunun en büyük sebebi de tavadaki su miktarının az olduğu ve dolayısıyla sıcaklık ve güneş radyasyonundan kolayca etkilendiğidir. Fakat bu tip tankların hacmi diğer buharlaşma tavalara kıyasla oldukça büyüktür. Hacminin büyük olması içerisindeki suyun sıcaklık değişimlerine daha geç hissetmesine olanak sağlamakta ve Bu sayede tankta meydana gelen buharlaşma miktarı, gerçek bir göl veya bir rezervuarda oluşan buharlaşma miktarına yakın olmaktadır. Buharlaşma ölçümlerinde bu tip tankların çok tercih edilmemesinin sebebi, kurulumunun zor, bakımının zahmetli ve maliyetinin yüksek olmasıdır [54,56].

3.5. BUHARLAŞMA TAHMİN METOTLARI

Buharlaşma miktarının tavalar ile doğrudan ölçümü, tava vd. ölçüm aletlerinin pahalı olması, donanımlı ölçüm personeli ihtiyacı, ölçümün alınacağı saatte personelin müsait olmaması ve buna benzer çeşitli sorunlar yüzünden buharlaşma miktarının

tavalalar ile ölçümünü kısıtlamaktadır. Buna ek olarak açık su yüzeylerinden buharlaşma miktarının tavalalar ile ölçümü her zaman için mümkün olmadığı gibi hava şartları dolayısıyla ölçümün yapılamaması da söz konusudur. Bu şartlar göz önüne alındığında buharlaşma miktarının tahminine ihtiyaç duyulmuştur. Dolayısıyla literatürde buharlaşma miktarının tahmini farklı kişilerce farklı metotlar ortaya konulmuş ve geliştirilmiştir [59].

3.5.1. Ampirik Eşitlikler ile Buharlaşma ve Evapotranspirasyon Tahmini

Burada su yüzeylerinde meydana gelen buharlaşmanın tahmin metotları arasında, Su Dengesi, Enerji Dengesi, Kütle Transferi, Lugen ve Meyer eşitlikleri, Evapotranspirasyon tahmin metotları arasında ise Blaney Criddle, Thornthwaite, Turc, Kharrufa, Hamon, Rohwer ve Penman - Monteith metotları ile ilgili bilgiler sunulmuştur.

3.5.1.1. Su Dengesi Metodu

belirli bir zaman aralığında bir su kütesine (baraj, göl vb.) giren ve çıkan su miktarları değerlendirildiğinde ortaya çıkan formül Eşitlik 3.1'de gösterilmiştir. Su Dengesi Metodu ile, uzun dönemler (aylık veya yıllık) için daha iyi sonuçlar elde edilebilmektedir. Zaman aralığının bir haftadan az olmaması gerektiği literatürde belirtilmiştir [55,60].

$$E = R + Q_i + \Delta S - (Q_e + Q_{ii}) \quad (3.1)$$

E: Buharlaşma miktarı,

R: Yağış miktarı,

Q_i: Giren su miktarı,

Q_e: Çıkan su miktarı

ΔS: zaman aralığının başında ve sonunda mevcut su farkı (S₂ – S₁),

Q_{ii}: Yeraltına sızan su miktarı.

3.5.1.2. Enerji Dengesi Metodu

Buharlaşma mekanizmasında ana enerji kaynağının güneş olduğu bilinmektedir. Enerji dengesi; Bir su kütlesine güneşten gelen ısı enerjisi miktarı ile su kütlesinin ısınmasına ve atmosfere dönmesine harcanan ısı enerjisi miktarının toplamına eşit olduğu prensibine dayanmaktadır. Başka bir deyişle enerji dengesi; bir su kütlesine giren ve çıkan enerji miktarlarının toplamının eşit olduğu bir diğer buharlaşma tahmin metodudur. Enerji dengesinin formulu Eşitlik 3.2’de görölmektedir [26,36].

$$H_e = H_i - H_o - H_c - \Delta H \quad (3.2)$$

Eşitlikte, H_e Buharlaşmada kullanılan enerjiyi, H_i güneşten su kütlesine giren ısı enerjisinin toplamını, H_o yansıma yoluyla su kütlesinden çıkan toplam ısı enerjisini, H_c su moleküllerinin su yüzeyinden atmosfere iletilirken harcanan ısı enerjisini ve ΔH ise su kütlesinin ısınması için gereken enerji miktarını temsil etmektedir. Burada H_c Eşitlik 3.3’te görölen formöl ile bulunabilmektedir.

$$H_c = K \times H_e \quad (3.3)$$

H_c Formölünde yer alan R ise Eşitlik 3.4’ten elde edilmektedir.

$$K = 6 \times 10^{-4} \times P_o \left(\frac{T_w - T_a}{e_w - e_a} \right) \quad (3.4)$$

Burada P_o Atmosfer basıncını (kg/cm^2), T_w Suyun sıcaklığını ($^{\circ}\text{C}$), T_a Hava sıcaklığını ($^{\circ}\text{C}$), e_w Suyun yaptığı basınç (kg/cm^2) ve e_a ise havanın basıncını (kg/cm^2) ifade etmektedir. Ayrıca formölde K, Bowen oranı olarak bilinmekte ve 0.2 – 0.3 arasında değer almaktadır.

Buharlaşma olayının gerçekteşebilmesi için gereken enerji, L suyun buharlaşma ısısı ve E buharlaşan suyun hacmi olmak üzere Eşitlik 3.5’te göröleceği şekilde hesaplanabilmektedir. Burada L, normal atmosfer basıncında 590 kal/cm^3 olarak seşilebilmektedir.

$$H_e = L \times E \quad (3.5)$$

Eşitlik 0.2'ye bu ifadelerin yerine yerleştirildiğinde:

$$E = \frac{H_i - H_0 - \Delta H}{L(1+K)} \quad (3.6)$$

Şeklinde elde edilir [26,36].

3.5.1.3. Kütle Transferi Metodu

İki sistem arasında su kütlesi transferinin belirlenmesi şeklinde tarif edilebilir. Su kütlesinin transferi, doymuş buhar basıncının yüksek olan bir ortamdan doymuş buhar basıncının düşük olan bir diğer ortama gerçekleşmektedir. Bu metod, transfer edilen su kütlesinin belirlenmesi prensibine dayanmaktadır. Su yüzeyinden iki farklı yükseklikte ölçülen sıcaklık, nem ve rüzgar hızından yararlanarak çeşitli buharlaşma formülleri ortaya konulmuştur. Bunun bir örneği Thorntwaite – Holzman denklemidir [26,36]. (Eşitlik 3.7)

$$E = \frac{A(e_w - e_a)(w_1 - w_2)}{T \times \ln\left(\frac{z_2}{z_1}\right)^2} \quad (3.7)$$

E: Buharlaşma miktarı (mm/saat),

A: sabit bir değer,

T: Ortalama havanın sıcaklığı (°C),

w₁ ve w₂: rüzgar hızı (km/saat),

z₁ ve z₂: yükseklik,

e_w ve e_a: Buhar basıncı (mmHg).

3.5.1.4. Lugen Eşitliği

Bu eşitlik, su yüzeylerinden oluşan aylık buharlaşma miktarını belirlemek için kullanılır [61]. Lugen'in ortaya koyduğu bu formül Eşitlik 3.8'de sunulmuştur.

$$E = 0.398 \times n \times (e_w - e_a) \left[\frac{273+T}{273} \right] \left[\frac{760}{B-e_a} \right] \quad (3.8)$$

Eşitlikte yer alan E, aylık buharlaşma miktarını (mm), n ayın gün sayısını, e_w doymuş buhar basıncını (kPa), e_a gerçek buhar basıncını (kPa), B atmosferik veya barometrik basıncı (kPa) ve T ise aylık ortalama sıcaklığı (°C) ifade etmektedir.

3.5.1.5. Meyer Eşitliği

Bu eşitlik, su yüzeylerinden oluşan aylık buharlaşma miktarını belirlemek için kullanılır, eşitlikte rüzgar hızı ve su buhar basıncından yararlanılmaktadır [26]. Meyer metodunun formülü Eşitlik 3.9'da görülmektedir.

$$E = 11 \times (e_w - e_a) \left[1 + \left(\frac{w_8}{16} \right) \right] \quad (3.9)$$

Eşitlikte yer alan E, aylık buharlaşma miktarını (mm), e_w doymuş buhar basıncını (kPa), e_a gerçek buhar basıncını (kPa) ve w_8 ise 8 m yüksekliğindeki rüzgarın hızını (m/saat) ifade etmektedir.

3.5.1.6. Penman-Monteith Metodu

Bu metot, ABD başta olmak üzere dünyada yaygın olarak kullanılan buharlaşma tahmin metotlarından biridir. Kombinasyon metodu olarak da bilinen bu metot, enerji ve hava hareketini bir denklemden birleştirmektedir [62,63].

1948 yılında Penman, meteorolojik parametreleri (sıcaklık, nem, rüzgar ve güneşlenme) ele alarak su yüzeylerinden buharlaşma formülünü geliştirmiştir. 1976 yılında Monteith tarafından aerodinamik ve yüzey direnci faktörleri Penman formülüne eklenerek bu formül bitkiler için de geliştirilmiştir. Aerodinamik ve yüzey direncinin de formüle eklendiği son hali Eşitlik 3.10'da ve bu metotta kullanılan diğer formüller de sırasıyla Eşitlik 3.11 – 3.19'da sunulmuştur [64–66].

$$ET_p = \frac{\delta}{\delta + \gamma^0} (R_n - G) \frac{1}{\lambda} + \frac{\gamma}{\delta + \gamma^0} \frac{900}{T + 275} W_2 (e_w - e_a) \quad (3.10)$$

$$e_a = e_w \frac{RH}{100} \quad (3.11)$$

$$\lambda = 2,501 - (2,361 \times 10^{-3}) \times T \quad (3.12)$$

$$\gamma = 0,0016286 \frac{B}{\lambda} \quad (3.13)$$

$$\gamma^0 = \gamma(1 + 0,34W_2) \quad (3.14)$$

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (3.15)$$

$$R_{ns} = 0,75 \times R_s \quad (3.16)$$

$$R_s = \left(0,25 + 0,50 \frac{S}{N}\right) R_a \quad (3.17)$$

$$R_{nl} = 2,451 f(T) f(e_a) f\left(\frac{S}{N}\right) \quad (3.18)$$

$$\delta = \frac{4098 e_w}{(T + 273,3)^2} \quad (3.19)$$

Burada ET_p , günlük potansiyel evapotranspirasyonu, e_w doygun buhar basıncını (kPa), e_a gerçek buhar basıncını (kPa), T ortalama günlük hava sıcaklığını ($^{\circ}C$), RH ortalama bağıl nemi (%), W_2 iki metre yükseklikteki rüzgar hızını (m/saat), B atmosfer basıncını (kPa), G toprak ısı değişim yoğunluğunu ($MJ m^{-2}/gün$), R_n bitki yüzeyindeki net radyasyon miktarını ($MJ m^{-2}/gün$), R_{ns} kısa dalga net radyasyon miktarını ($MJ m^{-2}/gün$), R_{nl} uzun dalga net radyasyon miktarını ($MJ m^{-2}/gün$), R_s yeryüzüne ulaşan kısa dalga radyasyon miktarını ($MJ m^{-2}/gün$), R_a atmosferin dış yüzeyine ulaşan radyasyon miktarını ($MJ m^{-2}/gün$), δ sıcaklık ve doygun buhar basıncı arasındaki ilişkinin eğimini ($kPa/^{\circ}C$), γ pisokometrik sabitini ($kPa/^{\circ}C$), γ^0 modifiye pisokometrik sabitini ($kPa/^{\circ}C$), $f(e_a)$ buhar basıncı fonksiyonunu, N gün uzunluğunu (saat) ve S ise güneşlenme süresini (saat) ifade etmektedir.

3.5.1.7. Thornthwaite Metodu

Thornthwaite 1944 yılında ABD’de lizimetreler ile çok sayıda ölçüm almış ve ardından buharlaşma-terleme ile sıcaklık arasında ilişkiyi incelemiştir. Ortaya koyduğu eşitlik Denklem 3.20’de sunulmuş olup güneşlenme ve aylık ortalama sıcaklığı dikkate alarak ET_p ’yı hesaplamaya yararmaktadır [67].

$$Etp = 16 * \left(\frac{10*T}{I}\right)^a \quad (3.20)$$

Etp: Aylık potansiyel evapotranspirasyon (mm),

T : Aylık ortalama sıcaklık (°C)

I : Yıllık sıcaklık indeksi

$$a = 6.7510 * 10^{-7} * I^3 - 7.7110 * 10^{-5} * I^2 + 1.791210 * 10^{-2} * I + 0.49239 \quad (3.21)$$

$$I = \sum_{1}^{12} i \quad (3.22)$$

$$i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1.514} \quad (3.23)$$

3.5.1.8. Blaney–Criddle Eşitliği

Blaney ve Criddle tarafından 1950 yılında ortaya konulan bu eşitlik kurak ve yarı kurak bölgelerde potansiyel evapotranspirasyon bulunmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu eşitliğin formülü denklem 3.24’de görülmektedir [26].

$$ETp = 45 * k * p(T + 18) \quad (3.24)$$

Bu formülde, Etp aylık evapotranspirasyon (mm), T aylık ortalama hava sıcaklığı (°C), p göz önüne alınan aydaki gündüz saatlerinin bütün yıldaki gündüz saatlerine

orandır ve Çizelge 3.2'den elde edilmektedir ayrıca k bitki cinsine bağlı bir katsayı olup Çizelge 3.3'ten elde edilmektedir.

Çizelge 3.2. Blaney-Criddle denkleminde kullanılan p değerleri [20].

Ay	KUZEY ENLEMLERİ										
	24°	26°	28°	30°	32°	34°	36°	38°	40°	42°	44°
OCAK	7,58	7,49	7,4	7,3	7,2	7,1	6,99	6,87	6,76	6,62	6,49
ŞUBAT	7,17	7,12	7,07	7,03	6,07	6,91	6,86	6,76	6,73	6,65	6,58
MART	8,4	8,4	8,39	8,38	8,37	8,36	8,35	8,34	8,33	8,31	8,3
NİSAN	8,6	8,64	9,68	8,72	8,75	8,8	8,85	8,9	8,95	9	9,05
MAYIS	9,3	9,38	9,46	9,53	9,63	9,72	9,81	9,92	10,02	10,14	10,26
HAZİRAN	9,2	9,3	9,38	9,49	9,6	9,7	9,83	9,95	10,08	10,21	10,38
TEMMUZ	9,41	9,49	9,58	9,67	9,77	9,88	9,99	10,1	10,22	10,35	10,49
AĞUSTOS	9,05	9,1	9,16	9,22	9,28	9,33	9,4	9,47	9,54	9,62	9,9
EYLÜL	8,31	8,31	8,32	8,34	8,34	8,36	8,36	8,38	8,38	8,4	8,41
EKİM	8,09	8,06	8,02	7,99	7,93	7,9	7,85	7,8	7,75	7,7	7,63
KASIM	7,43	7,36	7,27	7,19	7,11	7,02	6,92	6,82	6,72	6,62	6,49
ARALIK	7,46	7,35	7,27	7,14	7,05	6,92	6,79	6,66	6,52	6,38	6,22

Çizelge 3.3. Blaney-Criddle denkleminde kullanılan k₁ ve k₂ değerleri [20].

Bitki	Büy. Süre (ay)	K ₁	K ₂ (K ₁ 'nin %'si olarak)								
			Mart	Nis.	May	Haz.	Tem.	Ağu.	Eyl.	Eki.	Kas
Yulaf Turunçgil	Yıl	0,85	70	120	108	114	125	113	108	68	70
	Yıl		93	82	100	98	100	93	93	145	93
Toprak döken Otlak	Yıl		29	94	102	154	148	114	90	75	65
	Yıl	0,75	44	100	116	132	124	128	128	88	56
Pamuk Şeker Kam.	7 5,5	0,65			45	75	100	130	150		
		0,70	53	75	153	242	192	100	42	28	8
Domates	4,5	0,60					70	122	115	140	
Mısır	4	0,80				46	146	162	100	38	
Fasulye	3	0,65				37	70	165	127		
Patates	3	0,70				75	85	140	110		
Tahıl	3	0,75	102	153	118	24					
Pirinç	3,4	1,10		30	125	133	131	135	48		

3.5.1.9. Turc Denklemi

Bu metot potansiyel evapotranspirasyon tahmini için 1961 yılında Turc tarafından ortaya konulmuştur. Turc denklemi nemli ve otlak bölgelerde daha güvenilir sonuçlar verdiği literatürde belirtilmiştir [68,69]. Bu denklemin formülü bağıl nemin oranına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Eşitlik 3.24 ve 3.25'te bu ifade daha iyi anlaşılmaktadır.

$$RH > \%50 \text{ ise } ETp = 0,0133 \times \frac{T}{T+15} \times (R_s + 50) \quad (3.25)$$

$$RH < \%50 \text{ ise } ETp = 0,0133 \times \frac{T}{T+15} \times (R_s + 50) \times \left(1 + \frac{(50-RH)}{70}\right) \quad (3.26)$$

Burada,

ETp: evapotranspirasyon (mm/gün),

R_s: yeryüzüne ulaşan kısa dalga radyasyon miktarı (Kalori),

T: günlük ortalama sıcaklık (°C),

RH: bağıl nemi (%) ifade etmektedir.

3.5.1.10. Kharrufa (1985) Denklemi

Potansiyel evapotranspirasyon tahmininde kullanılan bir diğer denklem Kharrufa denklemidir. Bu denklem kurak ve bitki örtülü bölgelerde daha güvenilir sonuçlar vermektedir. Khurrafa denklemi Eşitlik 3.26'da sunulmuştur [66].

$$ETp = 0,34\rho T^{1,3} \quad (3.27)$$

Bu denklemde, ETp günlük potansiyel evapotranspirasyonu (mm/gün), ρ kullanılan dönem için (günlük veya aylık) toplam gündüz saatlerinin yılın toplam gündüz saatlerinin yüzdesini ve T günlük ortalama hava sıcaklığını (°C) ifade eder.

3.5.1.11. Hamon (1961) Denklemi

Bu denklem hemen hemen her türlü bölgede potansiyel evapotranspirasyon tahmininde kullanılan denklemler arasındadır [66]. Bu denklem ile ilgili formüller Eşitlik 3.27 ve 3.28’de verilmiştir.

$$ETp = 0,55D^2Pt \quad (3.28)$$

$$Pt = \frac{4,95 e^{(0,062T)}}{100} \quad (3.29)$$

Bu formüllerde, ETp günlük potansiyel evapotranspirasyonu (mm/gün), D gündüz süresini (saat), Pt doymuş buhar yoğunluğu terimini ve T ise ortalama hava sıcaklığını (°C) ifade etmektedir.

3.5.1.12. Rohwer (1962)

Potansiyel evapotranspirasyon tahminlerinde kullanılan bir diğer metot Rohwer (1962) denklemidir. Bu denklem kurak ve yarı kurak bölgelerde ve serbest su yüzeylerinde daha doğru sonuçlar vermektedir, formülü Eşitlik 3.29’da sunulmuştur [66].

$$ETp = 0,44(1 + 0,27W_2)(e_w - e_a) \quad (3.30)$$

Bu eşitlikte, W_2 iki metre yüksekliğinde rüzgârın hızını (m/sn), e_w doymuş buhar basıncını (kPa) ve e_a ise gerçek buhar basıncını (kPa) ifade etmektedir.

3.5.2. Yapay Sinir Ağlarının Buharlaşma Miktarının Tahmininde Kullanılması

Yapay sinir ağları (YSA), insan beynindeki sinir hücreleri yapısından esinlenerek oluşturulan farklı ağırlıklarla birbirine bağlı elemanlarından oluşmuş sistemler olarak tarif edilir [18]. Geleneksel progama yöntemleri ile insan beyninin özelliklerinden olan öğrenme yoluyla yeni bilgiler türetebilme, keşfedebilme ve yeni bilgiler

oluşturabilme gibi yetenekleri otomatik olarak gerçekleştirmek pek mümkün değildir. YSA işte bu yetenekleri herhangi bir yardım almadan otomatik olarak gerçekleştirmek maksadıyla geliştirilen bilgisayar sistemleridir [70].

İnsan beyni dışarıdan gelen bir etkiye karşı nasıl tepki vermesi gerektiğine karar verebildiği gibi YSA da ölçülmüş veya matematiksel formüller ile elde edilmiş sentetik verileri kullanarak önce öğrenip daha sonra nasıl tepki vereceğine karar verebilen bilgisayar yazılımlarıdır. Yani bu yazılımlar insan beyninin biyolojik sistem işleyişine benzer özellikler göstermektedir.

YSA'nın temel görevi aslında kendisine verilen bir girdi setine karşılık bir çıktı seti oluşturmak olduğunu söyleyebiliriz. Fakat bu görevi gerçekleştirebilmesi için ağın öncelikle olayın örnekleri ile eğitilmeli ve öğretilmelidir. Ağa verilen bu örnekler sayesinde ağ genelleme yapabilecek kabiliyete gelir ve benzer olaylar karşısında kendisine verilen örneklere dayalı tahminler üretebilmektedir [70].

YSA, son yıllarda hidrolojide ve su kaynakları yönetiminde sıkça kullanılan bir yöntemdir. Buharlaşma miktarının tahmininde de YSA'ys dayalı yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler, hidrolojik modellerin tahminlerinden daha doğru sonuçlar verirler ve genellikle daha az sayıda girdi değişkeni kullanırlar [18,70–74].

BÖLÜM 4

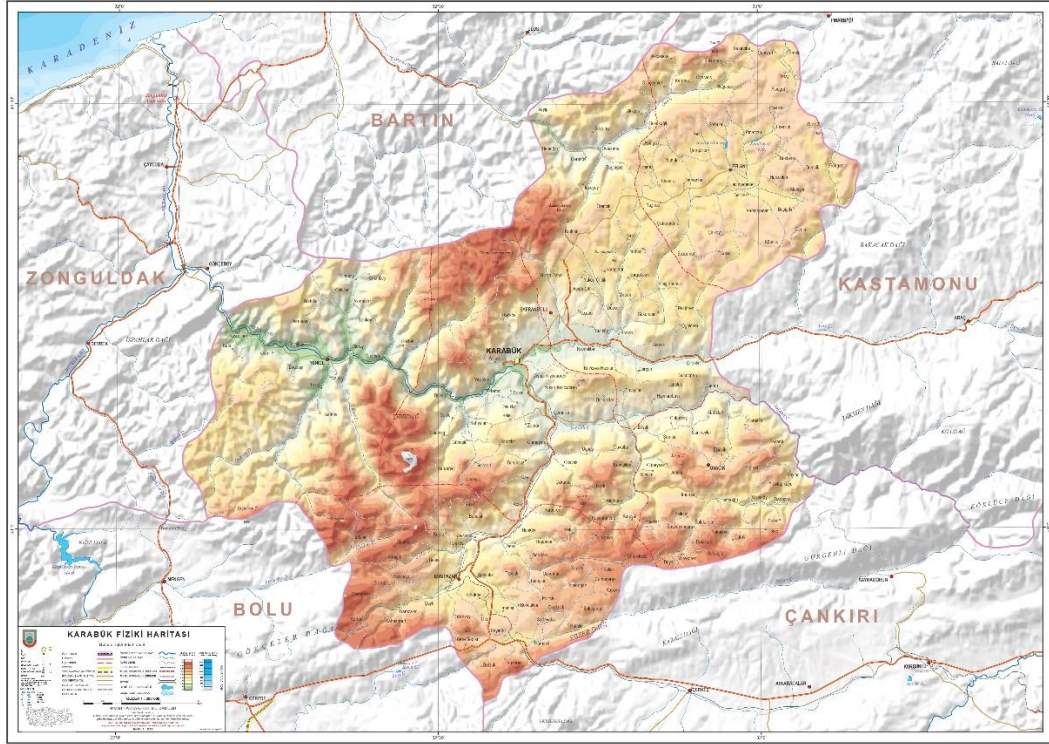
ÇALIŞMA ALANININ TANITILMASI

4.1. ÇALIŞMA ALANININ COĞRAFİK VE TOPOĞRAFİK ÖZELLİKLERİ:

Bu tezin çalışma alanı Türkiye'nin Batı Karadeniz Bölgesinde yer alan Karabük ilinin Merkez ilçesidir. İlin kuzeyinde Bartın (80 km), kuzeydoğu ve doğusunda Kastamonu (120 km), güneydoğusunda Çankırı (195 km), güneybatısında Bolu (130 km) ve batısında ise Zonguldak (170 km) yer almaktadır (Şekil 4.1).

Karabük ilinin yüzölçümü 4,145 km² olup 40° 57' ve 41° 34' kuzey enlemleriyle 32° 04' ve 33° 06' doğu boylamları arasında yer almaktadır. İlin coğrafik yapısı engebeli olup geniş düzlüklere sahip değildir. İlin toplam alanının 93,020 hektarını tarım toprakları, 271,403 hektarını ormanlar, kalan kısmını ise mera, yerleşim yeri ve diğer alanlar oluşturmaktadır. Bu verilere göre Karabük İl'inin %65,48'inin ormanlarla kaplı olduğu söylenebilir [75].

Çalışma alanı olan Karabük Merkez ilçesinin rakımı 274 metre olup 704 km² yüzölçümüne sahiptir. İlçenin coğrafi yapısı dalgalı şeklinde olup büyük düzlükler görülmemektedir [75].



Şekil 4.1. Çalışma alanı olan Karabük ilinin fiziki haritası

4.2. ÇALIŞMA ALANININ İKLİM BİLGİSİ

Karabük ili kısmen Karadeniz iklim özelliklerini göstermektedir. Karadeniz Bölgesinin yıllık ortalama hava sıcaklığı 13,15 °C iken Karabük ilinde bu rakam 13,2 °C ve yılın en sıcak ayı olan temmuz ayında Karadeniz Bölgesinde ortalama hava sıcaklığı 23,24 °C iken Karabük'te bu rakam 23,1 °C civarındadır. Karabük'te en soğuk ay Ocak olup ayın ortalama hava sıcaklığı 2,6 °C'tır. Bölgede şimdiye kadar ölçülen en yüksek hava sıcaklığı 43 °C olup en düşük hava sıcaklığı -14,2 °C'tır [76,77].

Çalışma alanı olan Karabük'te, Doğu Karadeniz Bölgesi gibi en fazla yağış son baharda ve az yağış ilk baharda görülmektedir. Fakat Doğu Karadenize kıyasla yağış miktarı neredeyse yarı yarıya daha düşüktür [76]. Karabük ili, Karadeniz iklim özelliklerine sahip olduğundan her mevsimde yağış olsa da Temmuz ve Ağustos aylarında kurak bir dönem geçirmektedir. İlin yıllık ortalama yağış miktarı 487,7 mm olup hâkim rüzgâr yönü güneybatıdır ve yıllık ortalama rüzgâr hızı ise 0,8 m/sn'dir [77].

BÖLÜM 5

BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışma kapsamında Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (MGM) çalışma alanına ait 2000 – 2021 yılları arasındaki sıcaklık (T), rüzgâr (W), basınç farkı (ew – ea), nispi nem (RH), atmosferik basınç (B), radyasyon (RS), güneşlenme süresi (S) açık yüzey buharlaşma (E) ve evapotranspirasyon (Etp) değerleri temin edilmiştir. Alınan bu değerlerin maksimum, minimum, ortalama ve standart sapmaları hesaplanarak çizelge 5.1'de sunulmuştur.

Çizelge 5.1. MGM'den temin edilen 2000-2021 aralığındaki verilerin istatistikleri.

Bağımsız değişkenler	Eleman sayısı (N)	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart sapma
ew	252	3,51	15,21	8,1122	3,04645
ea	252	2,36	10,33	5,4489	1,76787
ew – ea	252	0,44	6,44	2,6634	1,53199
S	84	0	10,23	5,7691	2,53599
T	264	-0,55	27,65	13,6405	7,77134
B	264	715,8	747,14	732,047	8,85332
RH	264	45,9	89,1	69,0057	9,32161
Rs	84	10,73	51,45	27,2033	8,64427
W	264	0,01	6,51	3,3104	1,69336
E	41	0	283	144,73	77,783
Etp	122	0,4	338,1	110,9205	77,36871

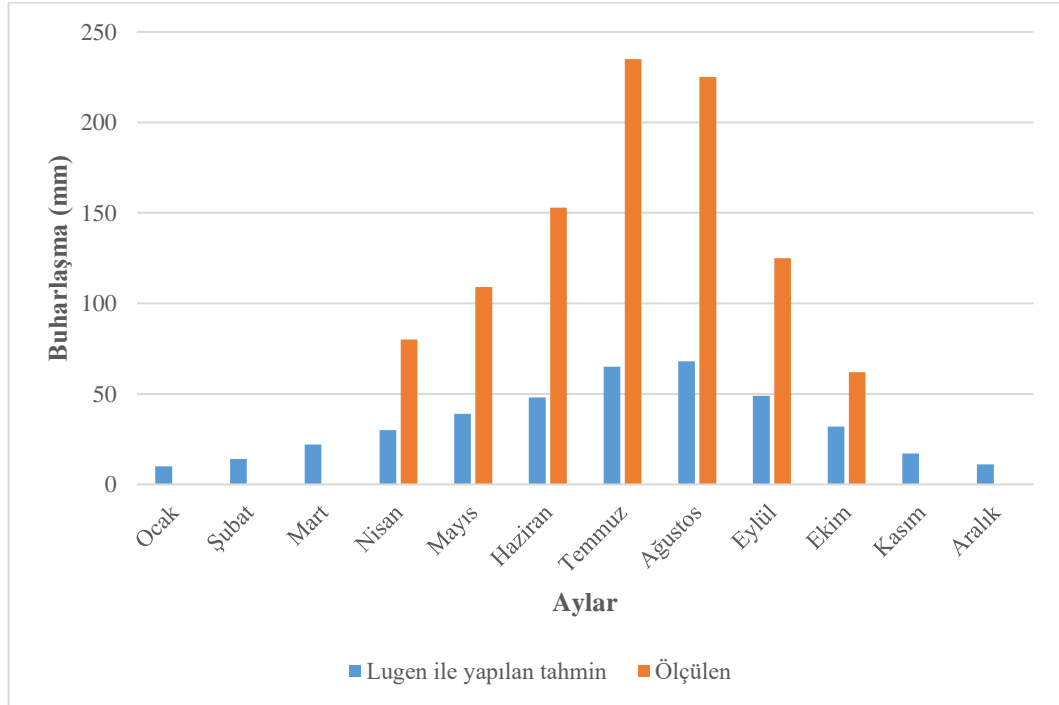
MGM tarafından açık su yüzeyi E miktarları sadece Nisan-Ekim ayları arasında ölçülmektedir. Bununla birlikte MGM'den temin edilen verilerde 2000-2016

aralığında veri eksikliği nedeniyle amprik formüller ile E ve Etp miktarlarının tahmin sürecinde 2016-2021 yıllarının verileri dikkate alınmıştır. 2016-2021 aralığındaki E ve Etp verilerinin istatistikleri çizelge 5.2’de sunulmuştur.

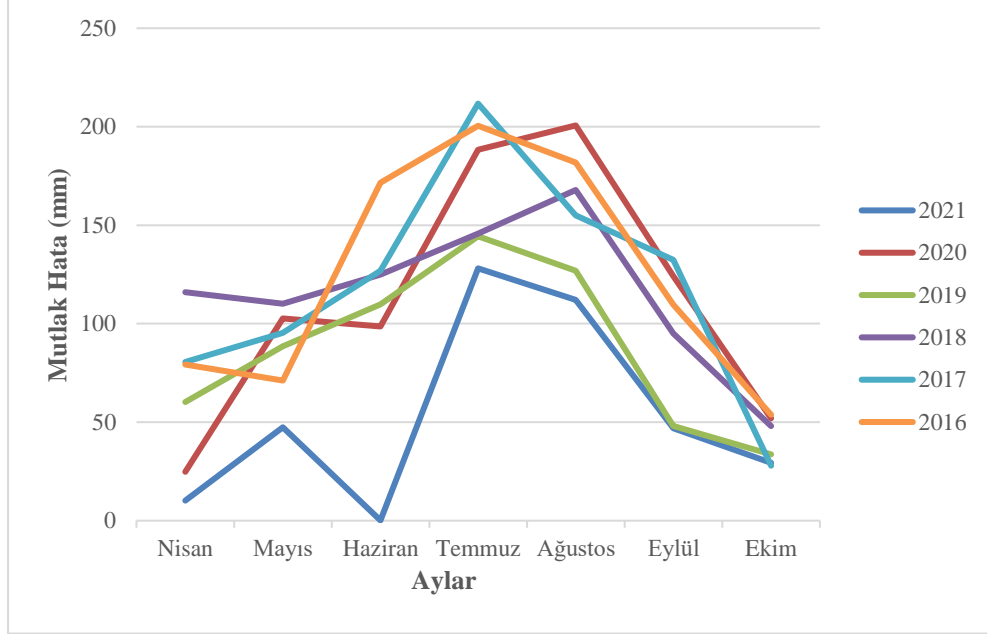
Çizelge 5.2. MGM’den temin edilen 2016-2021 aralığındaki E ve Etp değerlerinin istatistikleri

E/Etp	max	min	ortalama	S. Sapma
E	282,70	0	141,23	80,11
Etp	338,10	0	100,19	94,07

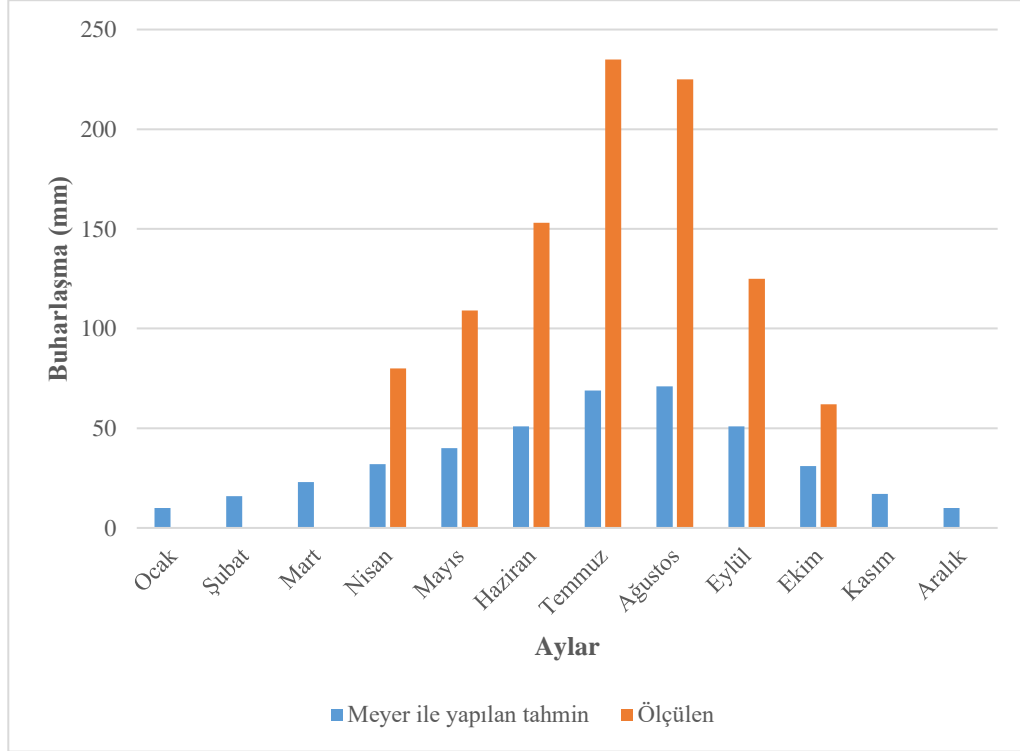
Bu altı yıllık veri kullanılarak Lugen ve Meyer eşitlikleri ile E miktarı hesaplanmıştır. Ardından hesaplanan bu altı yılın ortalama E değerleri kullanılarak, Lugen ve Meyer eşitlikleri ile hesaplanan ve MGM’den temin edilen değerlerin aylara göre değişimi ve devamında mutlak hata değerleri Şekil 5.1 – 5.4’te sunulmuştur.



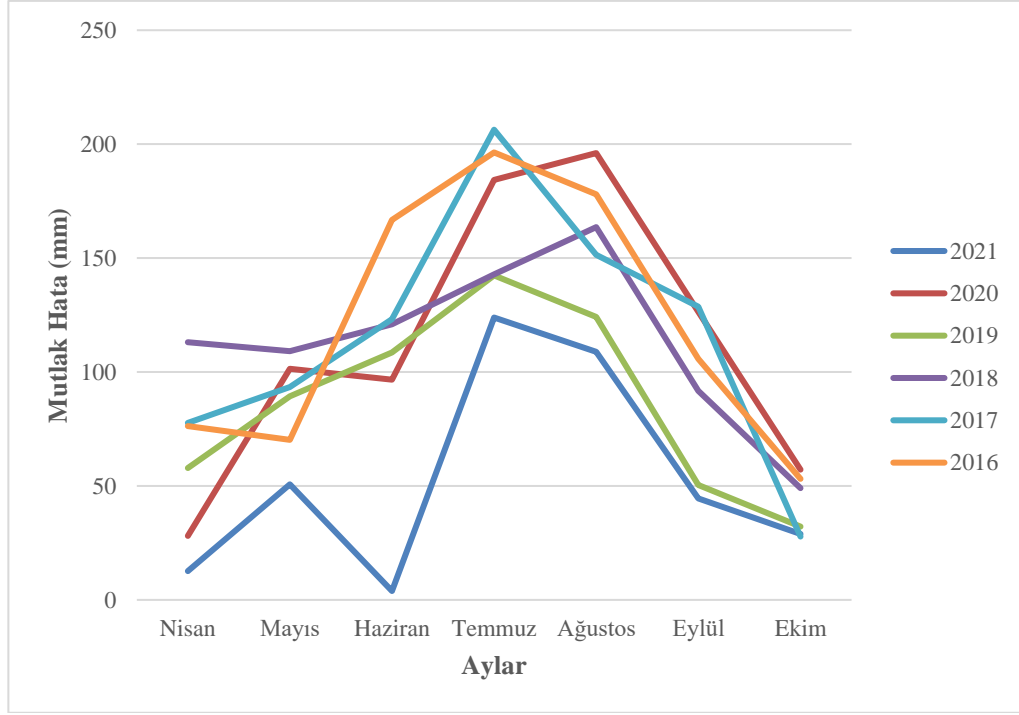
Şekil 5.1. Lugen eşitliği yardımıyla hesaplanan değerler ile ölçülen değerlerin aylara göre değişimi



Şekil 5.2. Lugen eşitliği ile hesaplanan ve MGM tarafından ölçülen E miktarı arasındaki mutlak hata grafiği



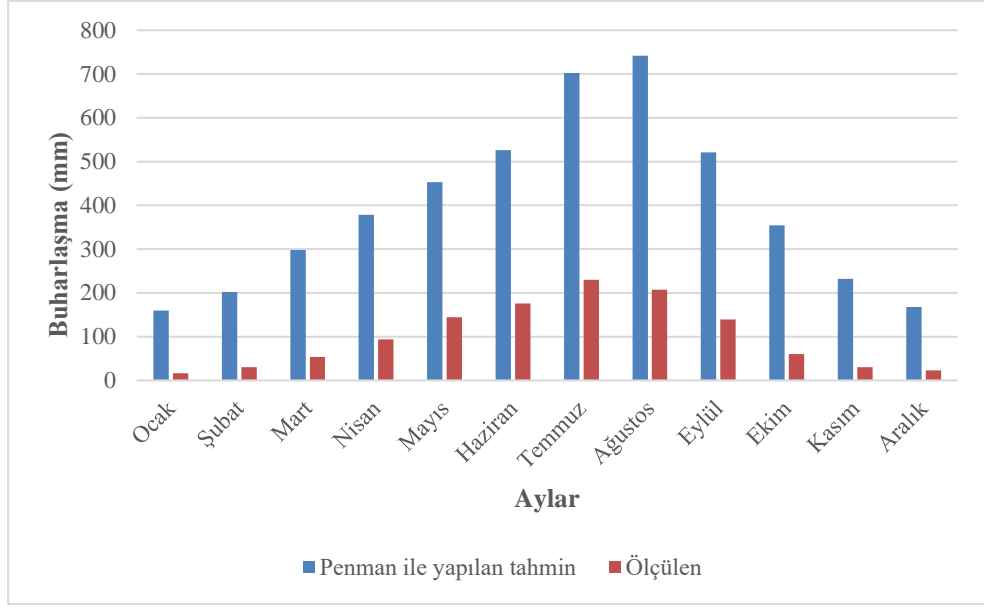
Şekil 5.3. Meyer eşitliği yardımıyla hesaplanan değerler ile ölçülen değerlerin aylara göre değişimi



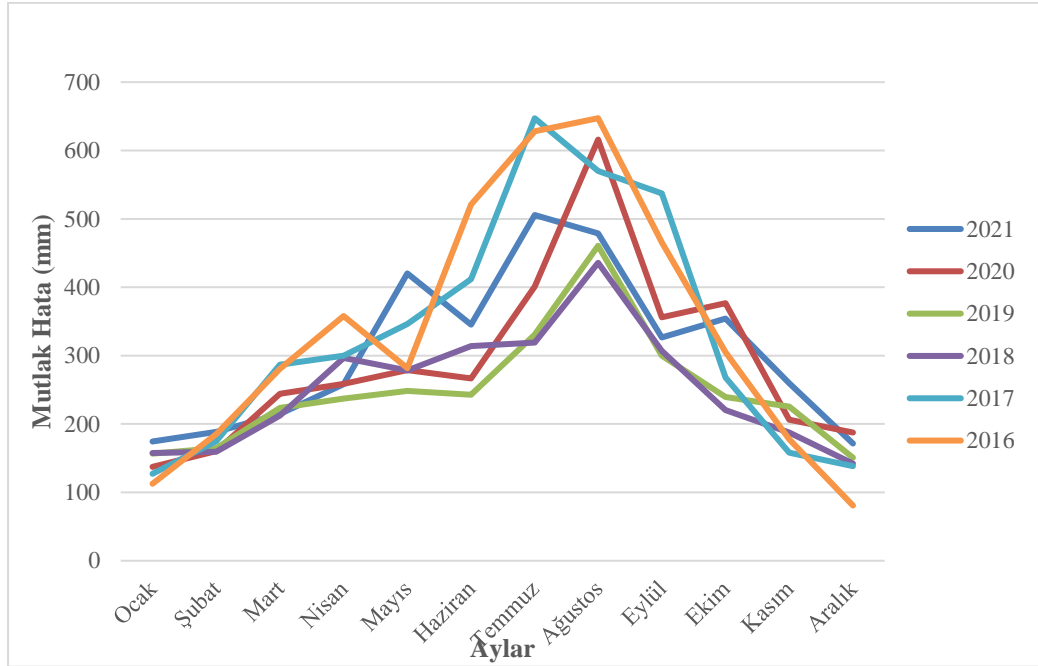
Şekil 5.4. Meyer eşitliği ile hesaplanan ve MGM tarafından ölçülen E miktarı arasındaki mutlak hata grafiği

MGM'den temin edilen 2016-2021 verileri kullanılarak, Etp tahmin metotları olan Penman, Thornthwaite, Blaney – Criddle, Turc, Kharrufa, Hamon ve Rohwer eşitlikleri yardımıyla Etp miktarı hesaplanmıştır. Ardından hesaplanan bu altı yılın ortalama Etp değerleri kullanılarak, amprik eşitliklerle hesaplanan ve MGM'den temin edilen Etp değerlerin aylara göre değişimi ve devamında mutlak hata değerleri Şekil 5.5 – 5.19'da sunulmuştur.

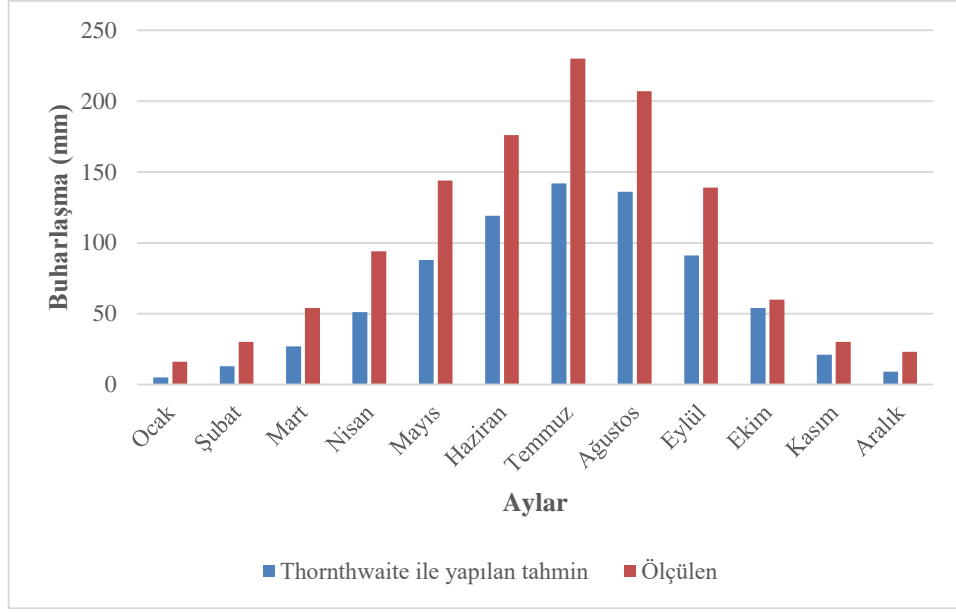
Penman metodunda gerekli olan 2 m yüksekliğindeki hız değerleri artık MGM tarafından ölçülmediğinden, bu değer yerine 10 m yükseklikten alınan rüzgar değeri kullanılmıştır.



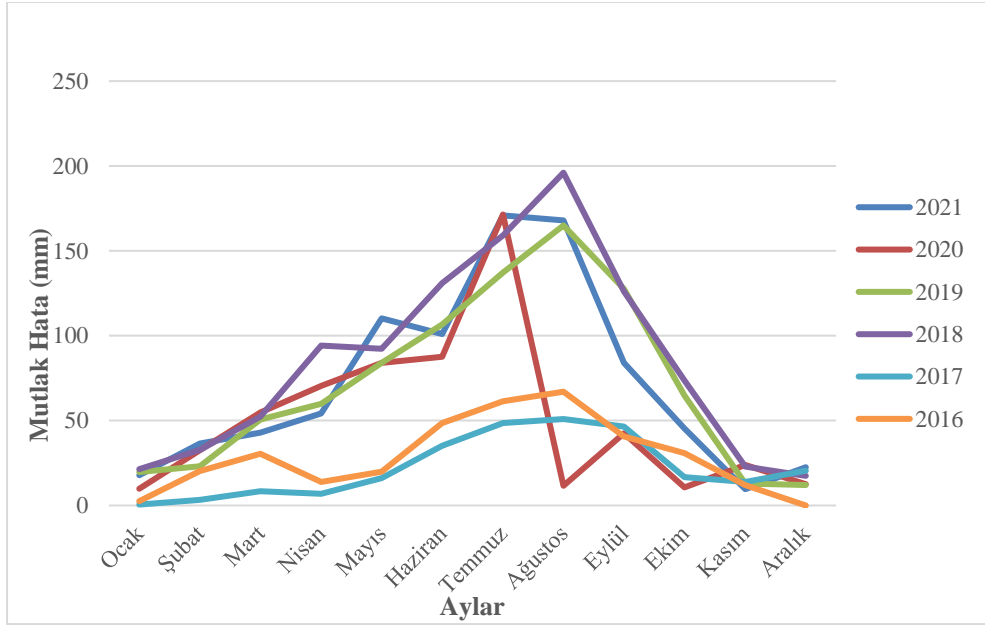
Şekil 5.5. Penman metodu yardımıyla hesaplanan değerler ile ölçülen değerlerin aylara göre değişimi



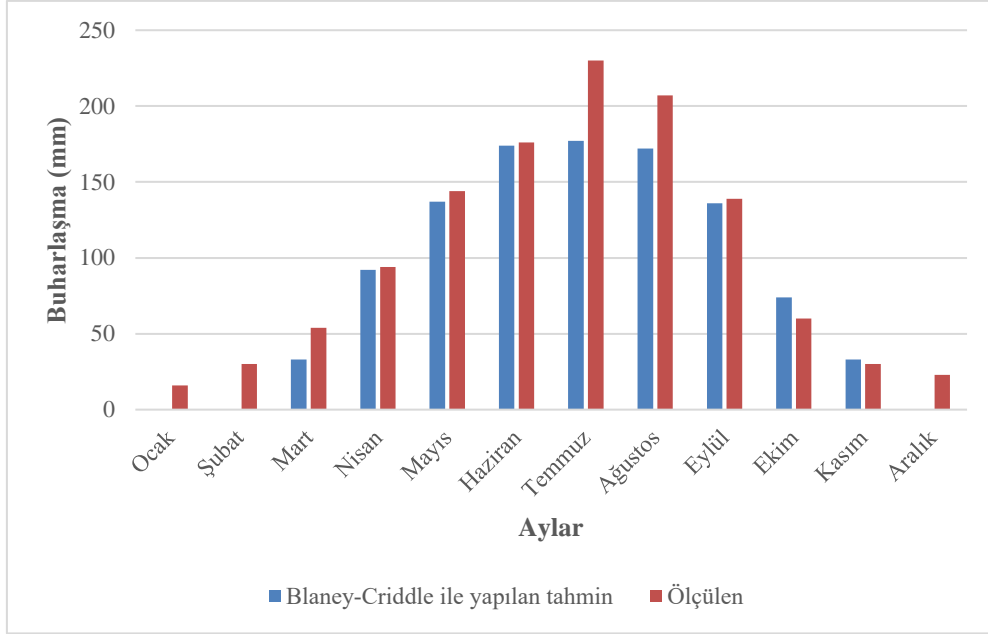
Şekil 5.6. Penman metodu ile hesaplanan ve MGM tarafından ölçülen Etp miktarı arasındaki mutlak hata grafiği



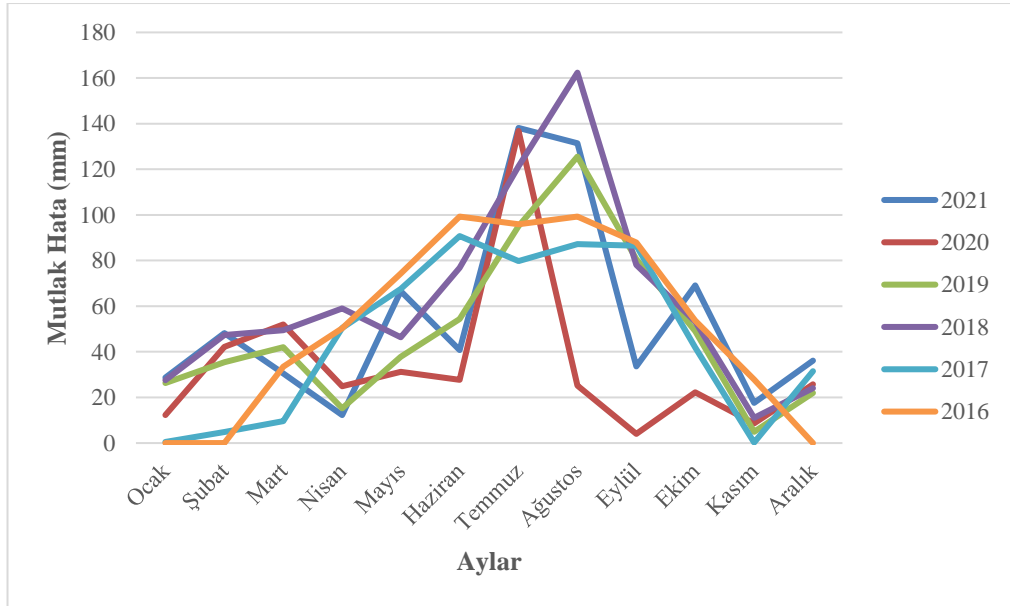
Şekil 5.7. Thornthwaite metodu yardımıyla hesaplanan değerler ile ölçülen değerlerin aylara göre değişimi



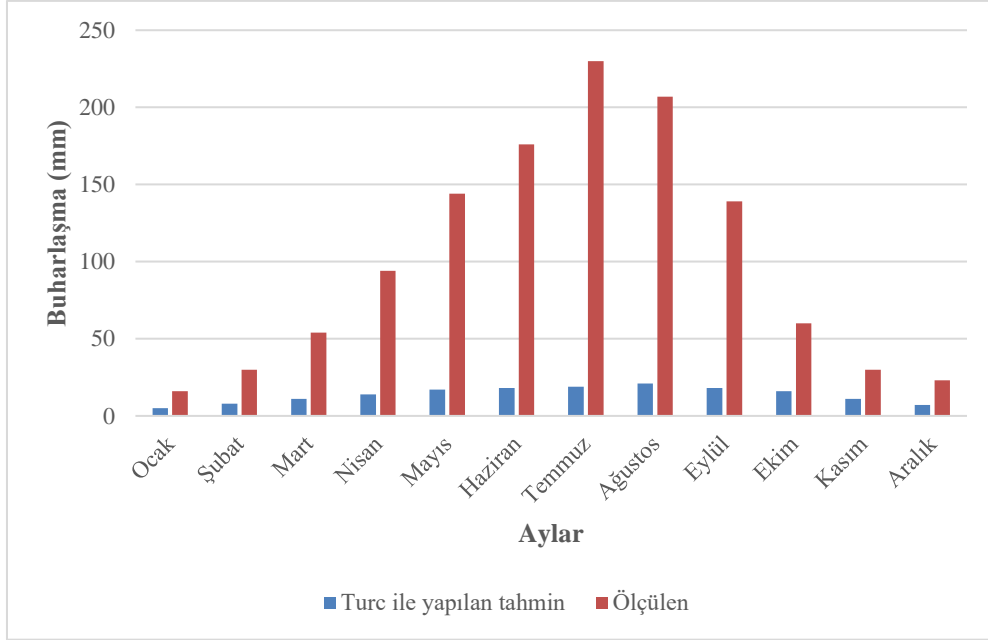
Şekil 5.8. Thornthwaite metodu ile hesaplanan ve MGM tarafından ölçülen Etp miktarı arasındaki mutlak hata grafiği



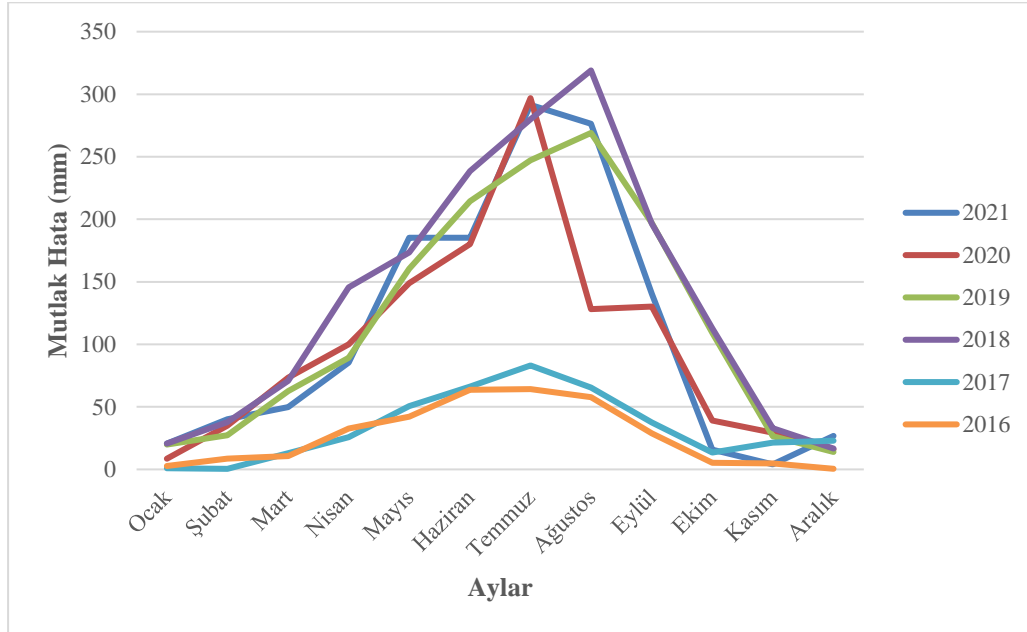
Şekil 5.9. Blaney-Criddle metodu yardımıyla hesaplanan değerler ile ölçülen değerlerin aylara göre değişimi



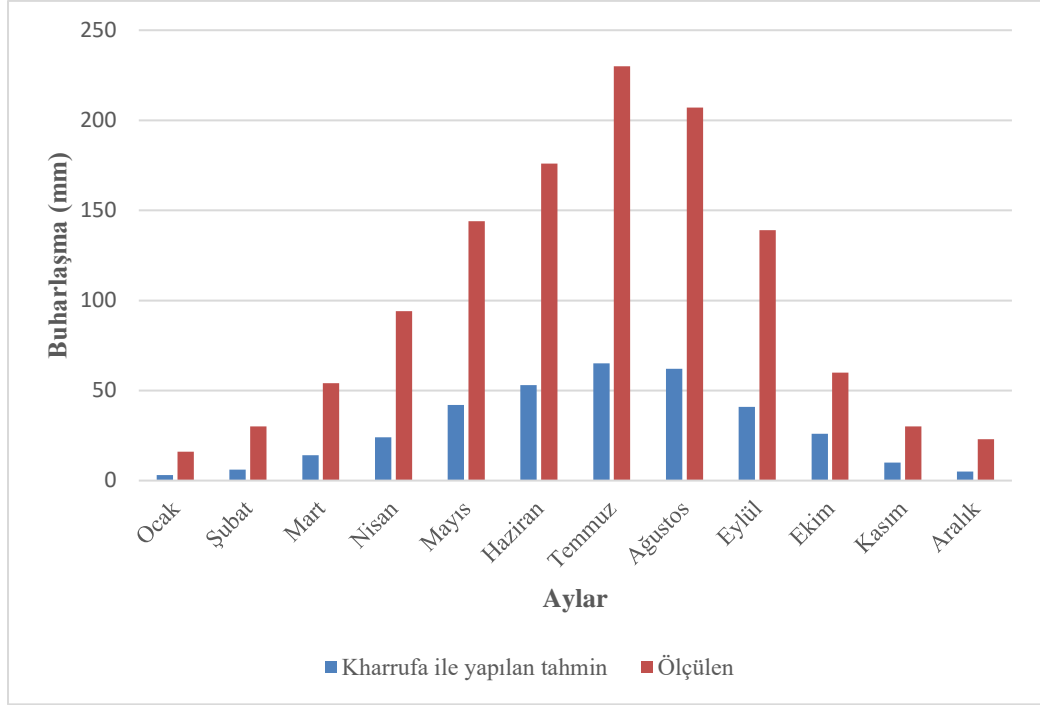
Şekil 5.10. Blaney-Criddle metodu ile hesaplanan ve MGM tarafından ölçülen Etp miktarı arasındaki mutlak hata grafiği



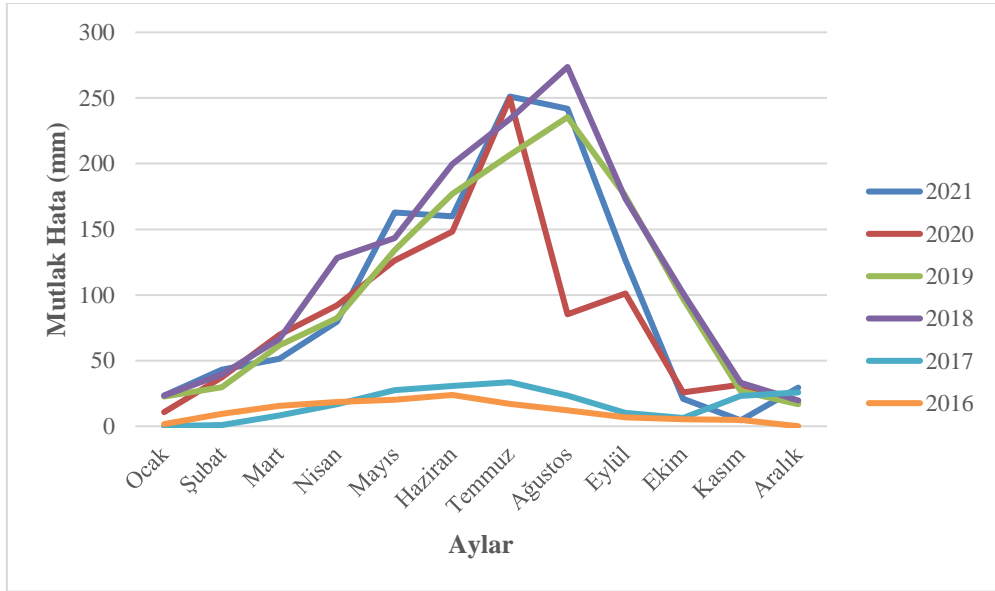
Şekil 5.11. Turc metodu yardımıyla hesaplanan değerler ile ölçülen değerlerin aylara göre değişimi



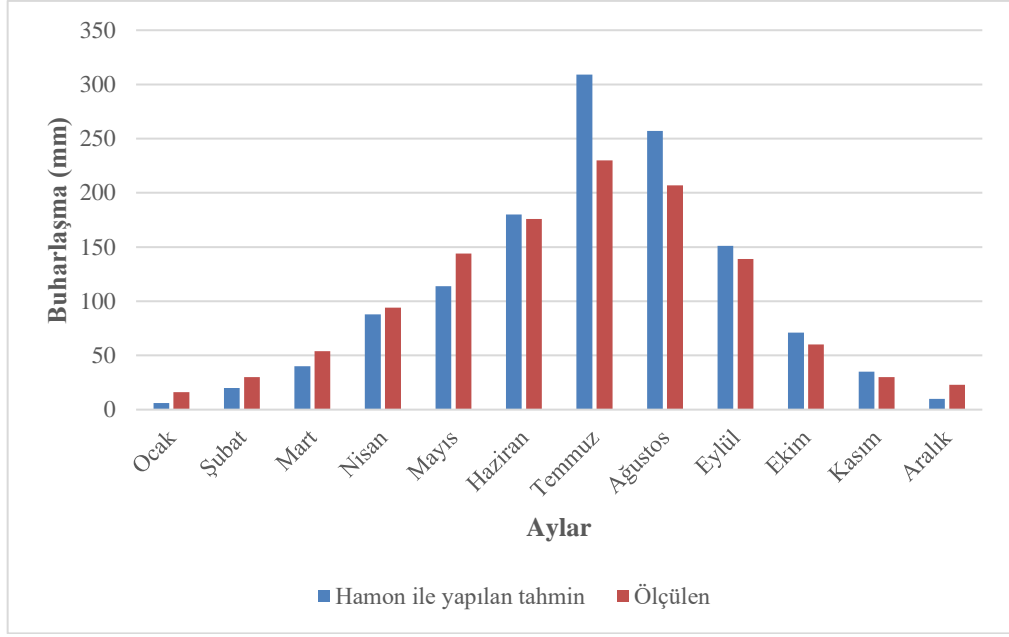
Şekil 5.12. Turc denklemi ile hesaplanan ve MGM tarafından ölçülen Etp miktarı arasındaki mutlak hata grafiği



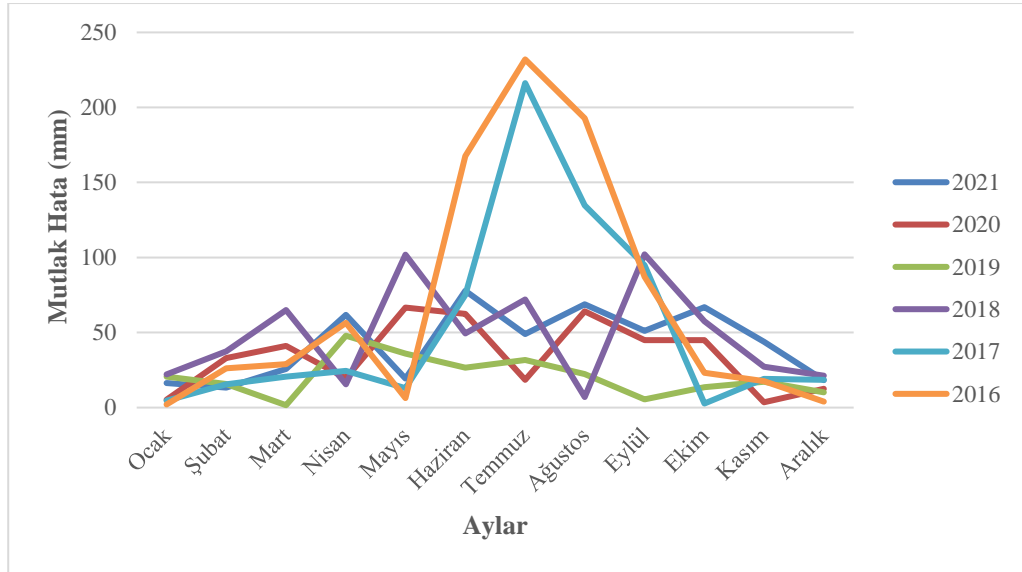
Şekil 5.13. Kharrufa metodu yardımıyla hesaplanan değerler ile ölçülen değerlerin aylara göre değişimi



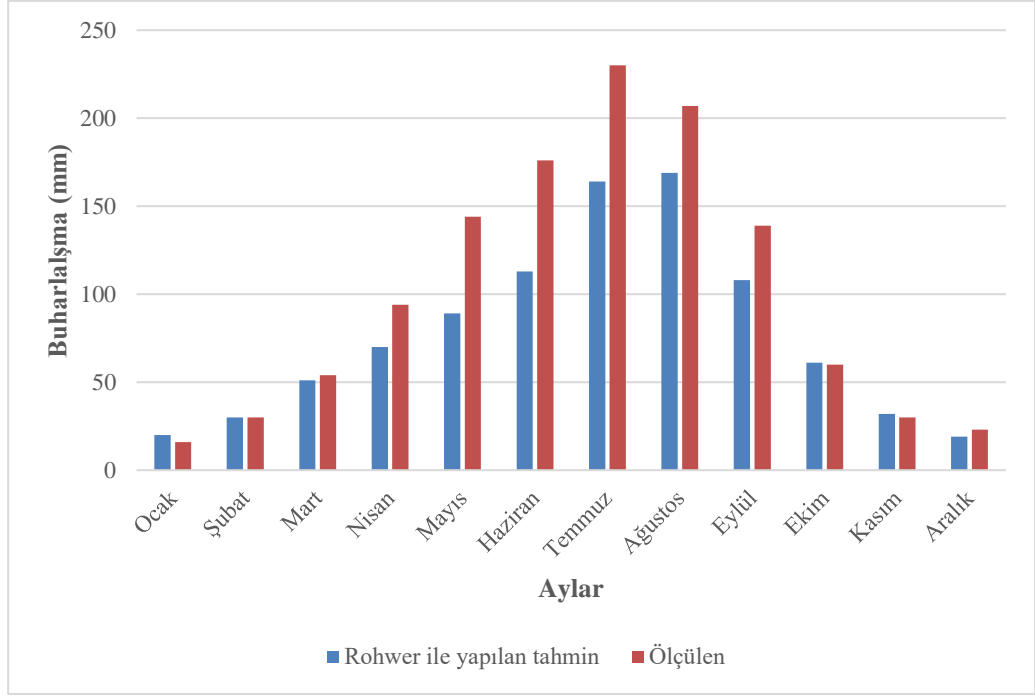
Şekil 5.14. Kharrufa denklemi ile hesaplanan ve MGM tarafından ölçülen Etp miktarı arasındaki mutlak hata grafiği



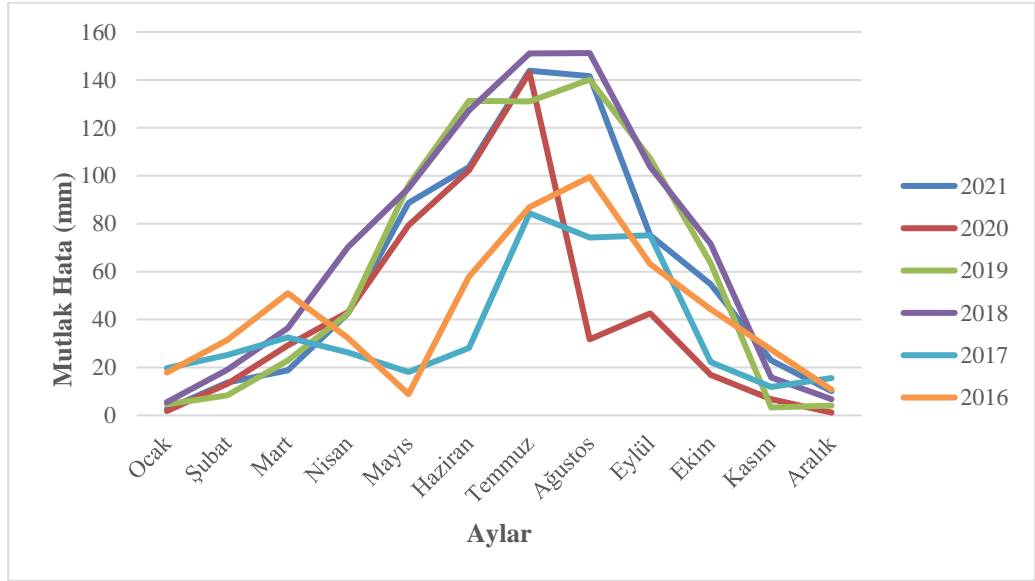
Şekil 5.15. Hamon metodu yardımıyla hesaplanan değerler ile ölçülen değerlerin aylara göre değişimi



Şekil 5.16. Hamon denklemi ile hesaplanan ve MGM tarafından ölçülen Etp miktarı arasındaki mutlak hata grafiği



Şekil 5.17. Rohwer metodu yardımıyla hesaplanan değerler ile ölçülen değerlerin aylara göre değişimi



Şekil 5.18. Rohwer denklemi ile hesaplanan ve MGM tarafından ölçülen Etp miktarı arasındaki mutlak hata grafiği

Yukarıda sunulan grafiklerin hesaplamaları yapılırken 2016 yılının Aralık ayı sıcaklık verilerinde sıfırın altına düşen hava sıcaklığına rastlanılmıştır. Bu durum Thornthwait, Kharrufa ve Turc denklemlerinin hesaplamasında buharlaşma

miktarının eksi bir değer çıkmasına sebep olmuştur. Buharlaşma miktarı hesaplarında, E'nin eksi bir değer aldığı durumlarda E'yi sıfır kabul ederek işleme devam edidiğinden bu çalışmada da E sıfır kabul ederek işleme devam edilmiştir ve grafikler de buna göre çizilmiştir.

MGM'den temin edilen E ve Etp miktarlarının ve çeşitli tahmin metotlarından hesaplanan E ve Etp miktarlarının karşılaştırılması sonucu tespit edilen mutlak hata değerlerinin yıllık ortalamaları izelge 5.3'te sunulmuştur.

Çizelge 5.3. MGM'den temin edilen veriler ile Amprik eşitlikler ile hesaplanan E ve Etp miktarları arasındaki mutlak hata değerlerinin yıllık ortalaması.

E/Etp	Metotlar/ Yıllar	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Top. Ort. M. Hata (mm)
E (mm)	Lugen	123,92	118,55	115,40	87,36	113,03	53,45	101,95
	Meyer	120,91	115,49	112,91	86,42	112,87	53,36	100,33
Etp (mm)	Penman	337,00	330,52	466,19	248,37	290,82	308,16	330,18
	Thorntwaite	28,97	22,28	84,93	71,93	50,97	71,89	55,16
	Blaney-Criddle	51,81	45,90	63,07	49,04	34,41	54,42	49,77
	Turc	26,82	33,42	137,07	119,77	98,80	110,10	87,66
	Kharrufa	12,11	17,18	119,65	105,42	83,01	99,52	72,82
	Hamon	70,36	53,28	48,22	20,74	34,71	42,69	45,00
	Rohwer	44,27	36,13	71,13	62,92	42,59	59,86	52,82

MGM'den temin edilen verilerin E miktarının ortalaması 141,23 mm ve standart sapması 80,11 mm olduğu izelge 0.0'da grlmektedir. Fakat Lugen ve Meyer eşitlikleri ile E hesabı yapıldığında; Şekil 1 – 2'de grldğu gibi Lugen eşitliği ile 211,732 mm'ye ve Meyer eşitliği ile 206,338 mm'ye kadar yükselen mutlak hata değerleri tespit edilmiştir.

Benzer durum Etp hesaplarında da görülmüştür. MGM'den temin edilen Etp miktarının ortalaması 100,19 mm ve standart sapması 94,07 mm iken ampirik formüllerle Etp hesabı yapıldığında; Penman ile 647,315 mm, Thorntwait ile 196,069 mm, Blaney Criddle ile 162,358 mm, Turc denklemiyle 319,016 mm,

Kharrufa denklemiyle 273,638 mm, Hamon denklemiyle 232,009 mm ve Rohwer denklemiyle ise 151,195 mm'ye yükselen mutlak hata değerleri tespit edilmiştir.

MGM'den temin edilen E ve Etp miktarı baz alınarak tahmin yoluyla bu değerlere daha yakın sonuç veren denklemler elde etmek amacıyla alınan 2000-2021 yıllarının verileri SPSS programına aktarılmış ve aralarındaki (E, Etp, T, ew-ea, B, RH, Rs, W, S) ilişkiler incelenmiştir. Bu verilerin korelasyon Çizelgesi SPSS programında kurularak çizelge 5.4'te sunulmuştur.

Çizelge 5.4. SPSS programından alınan, verilerin korelasyon Çizelgesi

Korelasyonlar												
		ew	ea	ew-ea	T	B	RH	Rs	W	S	E	Etp
ew	r	1	.934*	.911*	.958*	-.214*	-.576*	0.099	.264*	.747*	.788*	.696*
	N	252	252	252	252	252	252	84	252	84	41	122
ea	r	.934*	1	.703*	.811*	-.295*	-.265*	0.042	.258*	.575*	.565*	.565*
	N	252	252	252	252	252	252	84	252	84	41	122
ew-ea	r	.911*	.703*	1	.968*	-0.085	-.839*	0.160	.228*	.855*	.915*	.726*
	N	252	252	252	252	252	252	84	252	84	41	122
T	r	.958*	.811*	.968*	1	.170*	.770*	0.159	.261*	.838*	.903*	.740*
	N	252	252	252	264	264	264	84	264	84	41	122
B	r	-.214*	-.295*	-0.085	.170*	1	-0.077	0.135	-.534*	-.449*	-.648*	-0.083
	N	252	252	252	264	264	264	84	264	84	41	122
RH	r	-.576*	-.265*	-.839*	.770*	-0.077	1	0.214	-.137*	-.813*	-.603*	-.582*
	N	252	252	252	264	264	264	84	264	84	41	122
RS	r	0.099	0.042	0.160	0.159	-0.135	-0.214	1	0.046	.264*	-0.299	.277*
	N	84	84	84	84	84	84	84	84	84	41	68
W	r	.264*	.258*	.228*	.261*	-.534*	-.137*	0.046	1	.621*	.594*	.210*
	N	252	252	252	264	264	264	84	264	84	41	122
S	r	.747*	.575*	.855*	.838*	-.449*	-.813*	.264*	.621*	1	.642*	.723*
	N	84	84	84	84	84	84	84	84	84	41	68

E	r	.788*	.565*	.915*	.903*	-.648*	-.603*	-0.299	.594*	.642*	1	.412*
	N	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41
Etp	r	.696*	.565*	.726*	.740*	-0.083	-.582*	.277*	.210*	.723*	.412*	1
	N	122	122	122	122	122	122	68	122	68	41	122

Yukarıdaki korelasyon çizelgesinde görülen verilerden yola çıkarak, E miktarı üzerinde T ve ew-ea, Etp miktarı üzerinde ise bu iki parametreye ek olarak S'nin de etkili olduğu tespiti yapılmıştır. 2000-2021 yıllarındaki verilerin arasında incelenen ilişki ve Çizelge 5.4'te sunulan korelasyon çizelgesi göz önüne bulundurularak SPSS programında Karabük ili için E ve Etp miktarlarını hesaplamak için yeni denklemler türetilmiştir. Ortaya konulan bu denklemler ve bu denklemlerin hata oranlarının minimum, maximum, ortalama ve standart sapma değerleri hesaplanarak Çizelge 5.5 ve 5.6'da sunulmuştur.

Çizelge 5.6. Açık su yüzeyi buharlaşma miktarının hesabı için türetilen denklemler.

Bağımsız değişkenler	R ²	Hata				Denk . No	Denklem
		Min	Max	Ort.	S. Sapma		
(ew-ea)	0,838	1,65	90,24	24,61	18,97	1	$E = -63,032 + 63,085 * (ew - ea)$
T	0,815	0,16	110	25,37	21,41	2	$E = -105,075 + 13,807 * T$
T, (ew-ea)	0,847	0,28	97,02	22,85	19,81	3	$E = -82,157 + 4,910 * T + 41,921 * (ew - ea)$
W, (ew-ea)	0,848	0,06	95,85	23,07	19,39	4	$E = -97,746 + 58,477 * (ew - ea) + 9,742 * W$
W,T	0,831	1,81	115,2	23,46	21,41	5	$E = -145,057 + 12,174 * W + 12,571 * T$
T,B, (ew-ea)	0,854	0,3	97,09	22,43	19,14	6	$E = 3290,647 + 3,337 * T + 43,823 * (ew - ea) - 4,661 * B$
T,RH,Rs	0,908	0,43	80,84	17,09	16,09	7	$E = 169,192 + 11,923 * T - 2,225 * Rs - 2,604 * RH$
(ew-ea),RH,Rs	0,923	0,38	71,94	16,61	13,47	8	$E = -39,113 + 65,305 * (ew - ea) + 0,622 * RH - 2,549 * Rs$
T, (ew-ea),W,S,B,RH, Rs	0,928	0,54	79,1	14,91	14,38	9	$E = 193,013 + 52,584 * (ew - ea) + 1,62 * T - 0,323 * B + 0,216 * RH - 2,455 * Rs + 6,022 * W + 0,916 * S$

Çizelge 5.7. Etp miktarının hesabı için türetilen denklemler.

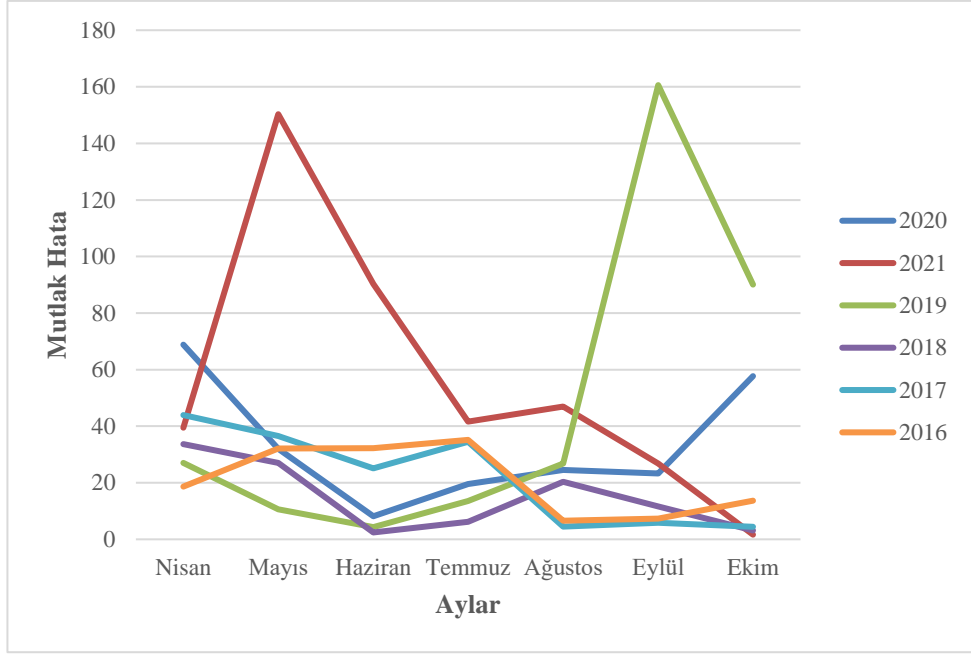
Bağımsız değişkenler	R ²	Hata				Denk. No	Denklem
		Min	Max	Ort.	S. Sapma		
(ew-ea)	0,53	0,13	143,81	39,44	35,59	10	Etp=-6,832+38,977*(ew-ea)
T	0,55	0,21	155,36	39,29	33,93	11	Etp=-22,349+8,383*T
S	0,52	0,08	138,01	52,66	36,81	12	Etp= -76,403+29,803*S
T, (ew-ea)	0,55	0,06	153,62	39,21	34,00	13	Etp=-21,213+7,434*T+4,615*(ew-ea)
W, (ew-ea)	0,58	0,06	134,24	36,41	34,21	14	Etp=-37,126+39,393*(ew-ea)+9,110*W
W,T	0,59	0,02	131,85	36,12	33,74	15	Etp=-47,729+8,022*W+8,371*T
T,Rs	0,62	0,15	143,37	43,54	37,94	16	Etp=-117,816+9,611*T+3,139*Rs
T,Rs,RH	0,62	0,28	142,79	43,55	37,92	17	Etp=-102,158+9,446*T+3,137*Rs-0,186*RH

Çizelge 5.5'ten anlaşılacağı üzere, SPSS programında E miktarının hesabı için türetilen denklemlerin ortalama hata değerleri, Lugen ve Meyer eşitlikleri kullanılarak elde edilen değerlerin ortalama hata değerlerine kıyasla çok daha düşüktür.

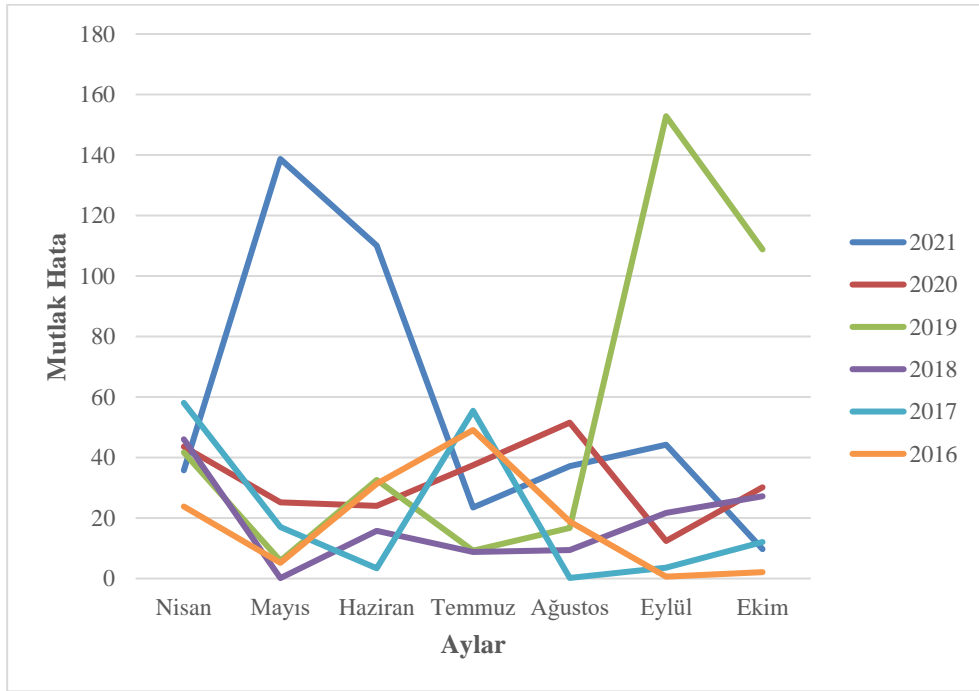
Çizelge 5.6'da ise, SPSS programında Etp miktarının hesabı için türetilen yeni denklemlerin ortalama hata değerleri, amprik eşitliklerle hesaplanan değerlerin ortalama hata değerlerinden nispeten daha düşük olduğu görülmektedir.

Çalışmanın bu aşamasında, MGM'den temin edilen 2016-2021 verileri kullanılarak, türetilen denklemler arasında E ve Etp miktarı üzerinde en çok etkili olan parametreleri içeren denklemler seçilerek E ve Etp miktarının tahmini yapılmıştır.

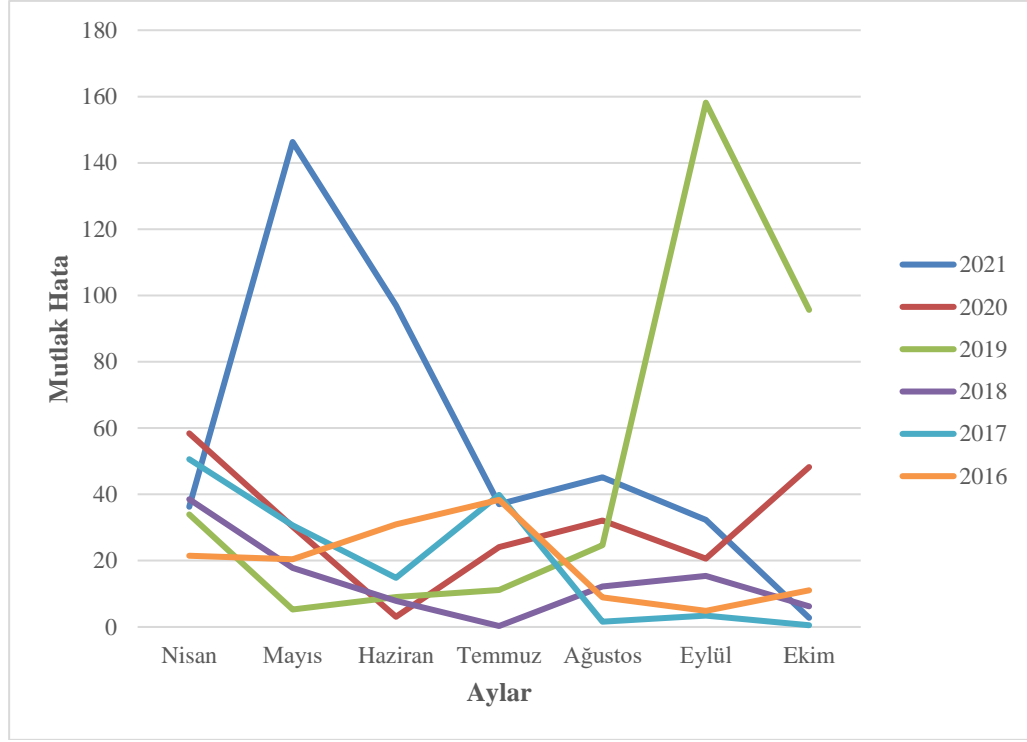
E miktarının tahmini için en çok etkili olan parametreleri içeren 1, 2 ve 3 nolu denklemler seçilerek E miktarının tahmini yapılmış ve mutlak hata grafikleri Şekil 5.20-5.22'de sunulmuştur.



Şekil 5.19. 1 nolu denklem ile yapılan E tahminin mutlak hata grafiği



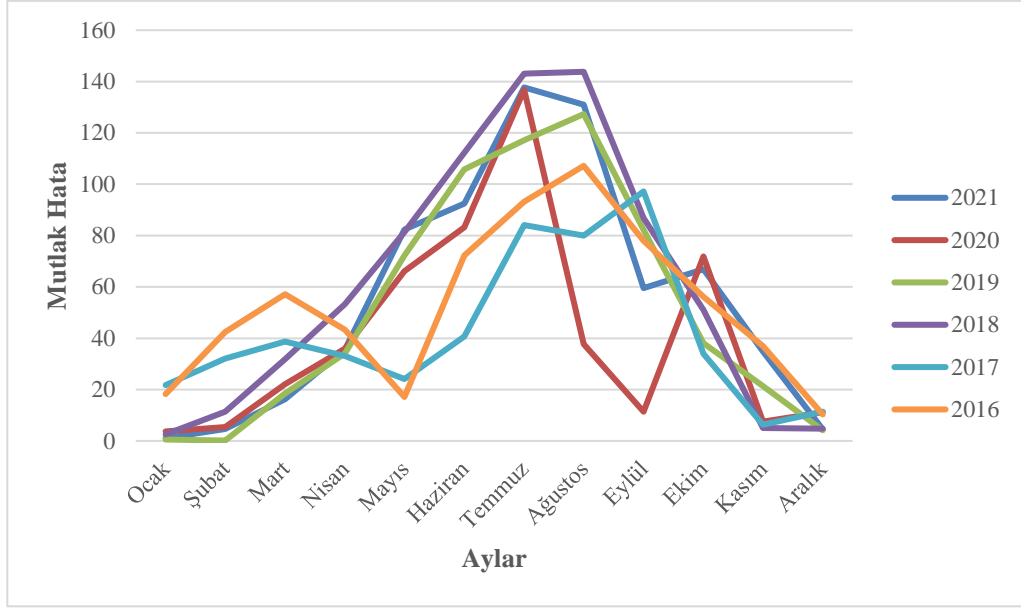
Şekil 5.20. 2 nolu denklem ile yapılan E tahminin mutlak hata grafiği



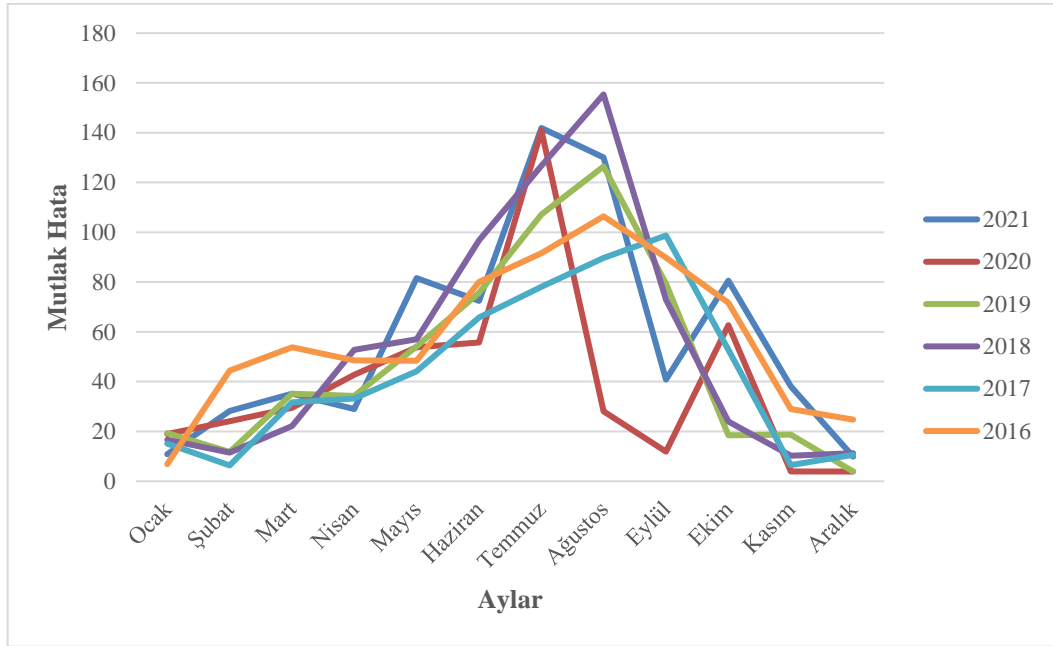
Şekil 5.21. 3 nolu denklem ile yapılan E tahminin mutlak hata grafiği

MGM'den temin edilen E verilerinde 2019 yılının Eylül ayı ve 2021 yılının Mayıs ayında E ölçümü yapılmamış olması bu aylarda mutlak hata değerlerinin yükselmesine sebep olmuştur.

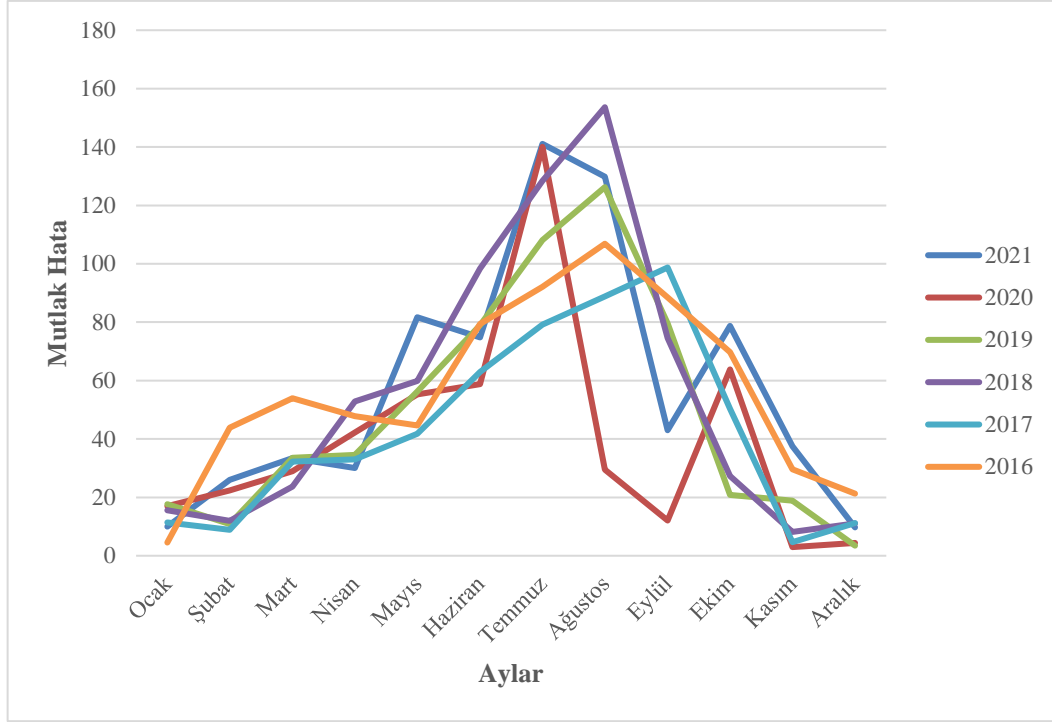
Etp miktarının tahmini için en çok etkili olan parametreleri içeren 10, 11 ve 13 nolu denklemler seçilerek Etp miktarının tahmini yapılmış ve mutlak hata grafikleri Şekil 5.23-5.25'te sunulmuştur.



Şekil 5.22. 10 nolu denklem ile yapılan Etp tahminin mutlak hata grafiği



Şekil 5.23. 11 nolu denklem ile yapılan Etp tahminin mutlak hata grafiği



Şekil 5.24. 13 nolu denklem ile yapılan Etp tahminin mutlak hata grafiği

MGM'den temin edilen E ve Etp miktarlarının ve SPSS programında türetilen denklemler ile hesaplanan E ve Etp miktarlarının karşılaştırılması sonucu tespit edilen mutlak hata değerlerinin yıllık ortalamaları çizelge 5.7'de sunulmuştur.

Çizelge 5.8. MGM'den temin edilen veriler ile türetilen denklemler ile hesaplanan E ve Etp miktarları arasındaki mutlak hata değerlerinin yıllık ortalaması.

E/Etp	Denklemler	Yıllar						Top. Ort. M. Hata (mm)
		2016	2017	2018	2019	2020	2021	
E (mm)	$E = -63,032 + 63,085 * (ew - ea)$	20,8 2	22,1 2	14,9 1	47,5 8	33,4 4	56,7 1	32,6 0
	$E = -105,075 + 13,807 * T$	18,7 3	21,4 1	18,4 4	52,5 3	32,0 6	57,0 1	33,3 6
	$E = -82,157 + 4,910 * T + 41,921 * (ew - ea)$	19,4 3	20,2 2	14,0 5	48,2 7	30,9 7	56,6 9	31,6 1
Etp (mm)	$Etp = -6,832 + 38,977 * (ew - ea)$	52,7 0	41,9 3	60,6 0	51,8 2	41,0 6	55,5 5	50,6 1
	$Etp = -22,349 + 8,383 * T$	57,9 6	44,4 0	54,8 2	48,7 0	39,6 9	58,2 3	50,6 3
	$Etp = -21,213 + 7,434 * T + 4,615 * (ew - ea)$	56,8 6	43,6 1	55,4 3	49,0 7	39,7 8	57,9 6	50,4 5

BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, Karabük ilinde meydana gelen buharlaşma ve evapotranspirasyon miktarlarının amprik formüllerle hesaplamayı ve aralarında en doğru tahmini yapan amprik formülün tespitini amaçlamıştır. Bu amaç doğrultusunda MGM'den temin edilen ew , ea , T , B , RH , RS , W , S , E ve Etp verileri kullanılarak amprik formüllerle hesaplanan E ve Etp miktarları MGM verileriyle karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucunda amprik formüllerle hesaplanan E ve Etp miktarları ile MGM'den temin edilen E ve Etp miktarları arasında mutlak hata değerlerinin yüksek olduğu görülmüştür. Bu sebeple MGM'den temin edilen veriler SPSS programına aktararak aralarındaki ilişkiler tespit edilmiştir ve bu ilişkilerden yola çıkarak E ve Etp miktarlarının hesaplanması için daha az hata ile yeni denklemler türetilmiştir. Çalışmada E ve Etp miktarının tahmini ayrıca YSA ile de yapılması düşünülmüştür. Ancak, YSA geçmiş verileri kullanarak katsayı optimizasyonu yapmaktadır. Tahminleme işlemi bu katsayılar ile oluşturulan fonksiyonlar ile yapılmaktadır. Günlük, aylık veya yıllık düzenli zaman serilerinde tahmin işlemi yapılması için geçmiş periyotlara ait kesintisiz veri bulunması gerekiyor. Eğer bu verilerde kesinti söz konusu olursa ağ öğrenme işlemi tam olarak tamamlayamayacağından sabit ve tutarsız tahmin değerleri üretecektir. Bu nedenle YSA kullanılarak E ve Etp tahmini yapılamamıştır.

Lugen ve Meyer eşitlikleri ile yapılan E hesaplamalarında, mutlak hata değerleri sırasıyla Lugén 101,95 mm ve Meyer 100,33 mm olarak birbirine yakın sonuçlar vererek MGM'den temin edilen E değerlerine göre daha düşük tahminde bulunmuştur. Ancak, Lugén eşitliğindeki 0,398 katsayısı yerine 0,750 olarak alındığında, mutlak hata değerinin düşük olduğu gözlemlenmiştir. Benzer şekilde, Meyer eşitliğinde yer alan 11 katsayısı, 35 olarak alındığında da mutlak hata değerinin düşük olduğu tespit edilmiştir.

Etp miktarının tahmininde ise Penman, Thornthwaite, Blaney Criddle, Turc, Kharrufa, Hamon ve Rohwer eşitlikleri kullanılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda, en düşük ortalama mutlak hata değeri sırasıyla Hamon denklemiyle 45,00 mm, Blaney-Criddle ile 49,77 mm, Rohwer denklemi ile 52,82 mm ve son olarak en yüksek mutlak hata değeri Penman metodu ile 330,18 mm tespit edilmiştir. Hamon denklemi, diğer ampirik eşitliklere göre daha az değişken içermesi nedeniyle, Etp tahminlerinde daha düşük ortalama mutlak hata değerleri sağladığı düşünülmektedir. Penman metodu ise, ampirik eşitlikler arasında en fazla değişken içeren metottur. Bu durum, Penman metodunun, en yüksek ortalama mutlak hata değeri ile Etp tahmini yapmasına sebep olduğu düşünülmektedir. Meteoroloji gözlem istasyonlarında rüzgâr ölçümlerinin Penman metodu için gerekli olan yükseklikte (2 metre) ölçümler alınmadığından dolayı, Penman metoduyla elde edilen sonuçlarda beklenenden çok daha yüksek hata oranları gözlemlenmektedir. Rüzgâr ölçümlerinin elimizdeki verilerini (10 metre ve 2 metre) Penman metodu için gerekli olan yüksekliğe (2 metre) dönüştürebilmek ve aralarındaki ilişkiyi belirlemek için, daha önceki yıllarda aynı yerde ve aynı zaman içerisinde her iki yükseklikte ölçümlerin mevcut olması gerekmektedir. Elimizdeki verilerin ya 2 metre ya da 10 metre yüksekliğinde ölçüldüğünden dolayı, bu iki yükseklik arasındaki ilişki belirlenememiştir ve Penman metodunda kullanılabilmesi için gereken 2 metre yüksekliğe dönüştürülemediği için.

Ampirik eşitlikler, E ve Etp miktarlarının tahminini MGM'den temin edilen verilere yakın derecede hesap edemediği göz önünde bulundurarak, Karabük ili için MGM'den temin edilen ortalama E ve Etp miktarlarına daha yakın sonuç veren denklemler elde edilmiştir. Bu amaçla MGM'den temin edilen 2000-2021 aralığındaki bütün veriler SPSS programına aktarılarak aralarındaki ilişkiler belirlenmiştir. Ardından Karabük ilinde E ve Etp miktarlarına en çok etkili olan parametreler tespit edilmiştir. Karabük ilinde E miktarına en çok T ve (ew-ea), Etp miktarına ise en çok T, (ew-ea) ve S parametrelerinin etkili olduğu gözlenmiştir.

SPSS programında, E tahmini için türetilen denklemlerin ortalama hata değerleri, Lugen ve Meyer eşitliklerine kıyasla önemli ölçüde düşük olduğu görülmüştür.

Etp tahmini için türetilen denklemlerin de ortalama hata deęerleri dięer amprik eřitliklerdeki ortalama hata deęerlerinden nispeten dūřuk olduęu sōylenbilir.

Ayrıca bu çalışmada, E ve Etp miktarlarının tahmini için türetilen denklemler arasında daha az değişken içeren denklemler de bulunmaktadır. Bu denklemlerin az değişken içermesi E ve Etp miktarlarının daha kolay tahmin etmesi bakımından önemlidir.

Buharlaşma azaltma çalışmalarının yapılacağı bōlgelerde, buharlaşma miktarı üzerinde etkili olan parametrelerin belirlenmesi önemlidir. Bu parametrelerin tespiti, alınacak önlemlerin belirlenmesinde ve buharlaşma azaltma çalışmalarının daha etkili sonuçlar vermesinde kritik bir rol oynamaktadır. Bu nedenle, bu çalışmanın farklı bōlgeler için yapılması, özellikle buharlaşma azaltma çalışmaları ve su kaynaklarının daha etkin ve verimli bir şekilde kullanılması açısından önemlidir.

KAYNAKLAR

1. Sümer, V., "AB su politikası ve Türkiye: Uyum sürecine kurumsal bir yaklaşım", *Ortadoğu Analiz*, 5 (53): 32–40 (2013).
2. Yılmaz, M. L. and Peker, H. S., "Su kaynaklarının Türkiye açısından Ekono-Politik önemi Ekseninde olası bir tehlike: su savaşları", *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 3 (1): 57–74 (2013).
3. Akbaş, H., Akça, L., Özdilek, H., Bulut, M., Rahmanlar, M., and Şahin, A. U., "On birinci kalkınma planı (2019-2023): Su kaynakları yönetimi ve güvenirliliği", *T.C. Kalkınma Bakanlığı*, Ankara, (2018).
4. Turan, E. and Bayrakdar, E., "Türkiye'nin Su Yönetim Politikaları: Ulusal Güvenlik Açısından Bir Değerlendirme", *Uluslararası Politik Araştırmalar Dergisi*, 6 (2): 1–19 (2020).
5. Özdülkar, K., Üneş, F., Demirci, M., and Kaya, Y. Z., "Günlük buharlaşma miktarının bulanık mantık yöntemleri kullanılarak bölgesel olarak modellenmesi", *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2 (1): 23–29 (2019).
6. Aydın, F. and Topaloğlu, F., "Türkiye buharlaşma verilerinin gidiş analizi", *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 22 (2): 173–184 (2010).
7. Sezer, Ç. Ö., "A sınıfı buharlaşma kabından olan günlük buharlaşmanın modellerle tahmini", Yüksek Lisans Tezi, *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Tokat, (2015).
8. Özel, A. and Büyükyıldız, M., "Aylık buharlaşma tahmininde yapay zeka yöntemlerinin kullanılabilirliği ", *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8 (1): 244–254 (2019).
9. Gümüş, V., Yenigün, K., Toprak, Z. F., and Oruç Baçi, N., "Şanlıurfa ve Diyarbakır istasyonlarında sıcaklık tabanlı buharlaşma tahmininde YSA, ANFIS ve GEP yöntemlerinin karşılaştırılması", *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 9 (1): 553–562 (2018).
10. Kişi, Ö. and Afşar, S., "Yapay Sinir Ağı ve Bulanık-Yapay Sinir Ağı Yöntemleri Kullanılarak Tava Buharlaşma Tahmini", *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 3 (1): 45–51 (2010).

11. Firidin, E., "Su sorununun, su hakkı ve su etiği çerçevesinde değerlendirilmesi", *Aksaray Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 7 (2): 43–55 (2015)
12. Aküzüm, T., Çakmak, B., and Gökalp, Z., "Türkiye’de su kaynakları yönetiminin değerlendirilmesi", *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 3 (1): 67–74 (2010).
13. Canbaz, C., "Lalapaşa ilçesi içme suyu kalitesinin mevsimsel değişimi ve su kalite indeksi kullanılarak insan sağlığı açısından değerlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Trankya Üniversitesi*, Edirne, (2022).
14. İbiş, A., "Burdur Gölü su seviyesi değişiminin istatistiksel analizi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi*, Ankara, (2021).
15. İnternet: DSİ, "Toprak Su Kaynakları", <http://www.dsi.gov.tr/Sayfa/Detay/754> (2022).
16. İnternet: DSİ, "Ulusal Su Planı (2019-2023)", (2019).
17. İnternet: Meteoroloji Genel Müdürlüğü, "Yıllık Toplam Yağış Verileri", <https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/yillik-toplam-yagis-verileri.aspx> (2022).
18. Taşar, B., Üneş, F., Demirci, M., and KAYA, Y. Z., "Yapay sinir ağları yöntemi kullanılarak buharlaşma miktarı tahmini", *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 9 (1): 543–551 (2018).
19. Özdülkar, K., "Günlük referans buharlaşma miktarının yapay zeka yöntemleri ve ampirik denklemler ile tahmini", *İskenderun Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Hatay, (2021).
20. Usul, N., "Mühendislik Hidrolojisi", 3. Ed., *ODTÜ Yayıncılık*, Ankara, 4–6 (2008).
21. Tekel, E., "Termik santrallerin enerji ve ekserji analizi", Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi*, Denizli, (2006).
22. Azlak, M., "İklim değişikliğinin buharlaşmaya olası etkiler", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2015).
23. Alkış, S. and Güleç, S., "İlköğretim öğrencilerinin bulut kavramını algılamaları üzerine bir araştırma", *Marmara Coğrafya Dergisi*, (13): 113–124 (2006).
24. Kocabaş, Osman. S., "Klasik osmanlı düşüncesinde doğa fenomenleri", *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2018).
25. İnternet: Ekolojist, "Su Döngüsü Nedir?", <https://ekolojist.net/su-dongusu-nedir/> (2022).
26. Bayazıt, M., "Hidroloji", 1. Ed., *Birsen Yayınevi*, İstanbul, (2013).

27. Pektaş, A. O., "Kuruyan akarsularda taban akışının ayrılması", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2007).
28. İnternet: Meteoroloji Genel Müdürlüğü, "Hidrolojik Çevrim", <https://mgm.gov.tr/genel/hidrometeoroloji.aspx?s=4> (2022).
29. Durack, P. J., Wijffels, S. E., and Matear, R. J., "Ocean Salinities Reveal Strong Global Water Cycle Intensification during 1950-2000", *Lawrence Livermore National Laboratory*, (2011).
30. İnternet: "Biology, Ecology, Ecosystems, Biogeochemical Cycles", <https://oertx.highered.texas.gov/courseware/lesson/1857/student/?task=2> (2022).
31. Avşaroğlu, Y., Gümüş, V., Şimşek, O., Dinsever, L., and KUŞ, M., "Güneydoğu Anadolu bölgesi'ndeki aylık toplam tava buharlaşma verilerinin mann-kendall testi ve yenilikçi şen yöntemi ile trend analizi", *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11 (4): 1059–1070 (2021).
32. Atabey, S. and Yokuş, İ., "Küresel ısınmanın artış nedenlerinin su kaynakları ve turist sağlığı üzerindeki yansımaları", *Akademik Bakış, Uluslararası Hakemli Sosyal Bilimler Dergisi*, 54: 188–203 (2016).
33. Özkan, M., "İklim değişikliğinin su yüzeyindeki potansiyel buharlaşmaya etkisi", *Eskişehir Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, (2020).
34. Özyol, K., "Çölleşmenin ekosisteme etkileri ve çölleşmeyi tersine çevirme yolunda sürdürülebilir tarımın önemi", *Anatolian Journal Of Forest Research*, 8 (1): 113–122 (2022).
35. İnternet: Meteoroloji Genel Müdürlüğü, "Buharlaşmaya Etki Eden Faktörler", <https://www.mgm.gov.tr/arastirma/buharlasma.aspx?s=2> (2022).
36. Özel, A., "Meteorolojik verileri kullanarak aylık tava buharlaşmasını tahmin etmek için yapay zeka metotlarının uygulanması", Yüksek Lisans Tezi, *Konya Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, (2018).
37. Eken, M., Ulupınar, Y., Demircan, M., Nadaroğlu, Y., Aydın, B., and Özhan Ümit, "Klimatolojik Rasat El Kıtabı", 3. Ed., *Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü*, Ankara, (2008).
38. Ölgen, M. K., "Türkiye'de buharlaşma koşullarını etkileyen faktörler ve buharlaşma rejim tipleri", *Ege Coğrafya Dergisi*, 7 (1): 221–234 (1993).
39. İnternet: Earth Clips., "What Is Evaporation? Process and Factors Affecting Evaporation and Few Interesting Facts", <https://earthclipse.com/energy/process-facts-factors-affecting-evaporation.html> (2022).

40. İnternet: Study Learn., "Factors Affecting Evaporation: Humidity, Wind, Area & Temperature", <https://www.studylearn.com/blog/factors-affecting-evaporation/> (2022).
41. İnternet: Karsten, H., Vanek, S., and Zimmerer, K., "Evaporation and Climate", <https://www.e-education.psu.edu/geog3/node/905> (2022).
42. Al-Shammiri, M., "Evaporation rate as a function of water salinity", *Desalination*, 150 (2): 189–203 (2002).
43. Paaijmans, K. P., Takken, W., Githeko, A. K., and Jacobs, A. F. G., "The effect of water turbidity on the near-surface water temperature of larval habitats of the malaria mosquito *Anopheles gambiae*", *International Journal Of Biometeorology*, 52 (8): 747–753 (2008).
44. Terzi, Ö., "Eğirdir Gölü'ne ait buharlaşma modellerinin geliştirilmesi ve uygulanması", *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, (2004).
45. Benzaghta, M. and Thamer, A. M., "Evaporation from reservoir and reduction methods: An overview and assessment study", *International Engineering Convention*, 11: 1–8 (2009).
46. Craig, I. P., "Loss of Storage Water Due to Evaporation ", NCEA, *NCEA Publication*, Toowoomba, 1–62 (2005).
47. Chhabra, A., Kumar, V., Nadaf, S., Nitish, D., and Shiv Shankara, G., "Reduction of Evaporation in Reservoir by Using Shade Balls", *International Research Journal Of Modernization In Engineering Technology And Science*, 4 (6): 2582–5208 (1405).
48. Waheeb Youssef, Y. and Khodzinskaya, A., "A Review of Evaporation Reduction Methods from Water Surfaces", *E3S Web Of Conferences*, 97 (05044): 1–10 (2019).
49. İnternet: "Buharlaşmayı Engellemek İçin Göl ve Barajlara Güneş Enerjisi Paneli Yerleştirilecek | Independent Türkçe", <https://www.indyurk.com/node/411371/%C3%A7evre/buharla%C5%9Fmay%C4%B1-engellemek-i%C3%A7in-g%C3%B6l-ve-barajlara-g%C3%BCne%C5%9F-enerjisi-paneli> (2022).
50. Kim, S. M., Oh, M., and Park, H. D., "Analysis and prioritization of the floating photovoltaic system potential for reservoirs in Korea", *Applied Sciences*, 9 (3): 1–17 (2019).
51. İnternet: Afa Enerji., "Güneş Enerjisinin Avantajları ve Dezavantajları", <https://www.afaenerji.com/blog/2019/09/13/artilari-ve-eksileri-ile-gunes-enerjisi/> (2022).
52. Sepaskhwah, A. R., "کاهش تبخیر از مخزن آب سدها", *دوفصلنامه پژوهش های راهبردی در علوم کشاورزی و منابع طبیعی*, 3 (1): (2019).

53. Baybora, M. C., "Tatlı ve tuzlu su ortamları arasında A sınıfı tava buharlaşma verilerinin karşılaştırılması; Van Gölü örneği", Yüksek Lisans Tezi, *Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Van, (2021).
54. WMO, "Guide to Instruments and Methods of Observation", 2018. Ed., *World Meteorological Organization*, Switzerland, 1–573 (2018).
55. Afif, M., "Buharlaşma ve süblimleşme yoluyla gerçekleşen kütle kayıplarının meteorolojik değişkenlerle olan ilişkisinin araştırılması", *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2012).
56. Korkmaz, M. S., "Buharlaşma kayıplarının yüzer fotovoltaik paneller ile azaltılması", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2015).
57. Fu, G., Liu, C., Chen, S., and Hong, J., "Investigating the conversion coefficients for free water surface evaporation of different evaporation pans", *Hydrological Processes*, 18: 2247–2262 (2004).
58. Fu, G., Charles, S. P., and Yu, J., "A critical overview of pan evaporation trends over the last 50 years", *Climatic Change*, 97: 193–214 (2009).
59. Sudheer, K. P., Gosain, A. K., Mohana Rangan, D., and Saheb, S. M., "Modelling evaporation using an artificial neural network algorithm", *Hydrological Processes*, 16: 3189–3202 (2002).
60. Tütüncü, Ö., "Yapay sinir ağları (YSA) modeli ile su yüzeyinden buharlaşmanın tahmini: Atatürk buharlaşma örneği", Yüksek Lisans Tezi, *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bilecik, (2022).
61. Ekemen Keskin, T., "Mühendislik Hidrolojisi Ders Notu" *Karabük Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü*, Karabük (2021).
62. Afşar, S., "Yapay sinir ağları ve Bulanık mantık yöntemleri kullanılarak tava buharlaşma tahmini yapılması", Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri, (2008).
63. Doğan, S., "Günlük buharlaşma miktarının yapay sinir ağları metotları ve klasik yöntemlere tahmini", Yüksek Lisans Tezi, *İskenderun Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Hatay, (2020).
64. Bayramoğlu, E., "Trabzon ilinde iklim değişikliğinin mevsimsel bitki su tüketimine etkisi: Penman-Monteith yöntemi", *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 13 (2): 300–306 (2013).
65. Penman, H. L., "Natural evaporation from open water, bare soil and grass", *Proceedings of The Royal Society Of London. Series A, Mathematical And Physical Sciences*, 193 (1032): 120–145 (1948).

66. Zhao, L., Xia, J., Xu, C. yu, Wang, Z., Sobkowiak, L., and Long, C., "Evapotranspiration estimation methods in hydrological models", *Journal Of Geographical Sciences*, 23 (2): 359–369 (2013).
67. Bölük, E., "Thornthwaite iklim sınıflandırmasına göre Türkiye iklimi", Ankara, (2016).
68. Doğan, S., "Günlük buharlaşma miktarının yapay sinir ağları metotları ve klasik yöntemlerle tahmini", Yüksek Lisans Tezi, *Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, Hatay, (2020).
69. Suwarman, R., Novitasari, and Junnaedhi, I. D. G. A., "A study on characteristics and comparison of evaporation estimation methods in Bandung", *Journal of Mathematical and Fundamental Sciences*, 53 (2): 182–199 (2021).
70. Babacan, H. T., "Giresun ili Aksu deresi için farklı parametreler kullanılarak yapay sinir ağları ile akış modellemesi ve ileriye dönük akım tahminleri yapılması", Yüksek Lisans Tezi, *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gümüşhane, (2015).
71. Demirci, M. and Baltacı, A., "Prediction of suspended sediment in river using fuzzy logic and multilinear regression approaches", *Neural Comput and Applic*, 23 (1): 145–151 (2013).
72. Abrishami, N., Sepaskhah, A. R., and Shahrokhnia, M. H., "Estimating wheat and maize daily evapotranspiration using artificial neural network", *Theoretical and Applied Climatology*, 135 (3–4): 945–958 (2019).
73. Partal, T., "Comparison of wavelet-based hybrid models for daily evapotranspiration estimation using meteorological data", *KSCCE Journal of Civil Engineering*, 20 (5): 2050–2058 (2016).
74. Feng, Y., Cui, N., Zhao, L., Hu, X., and Gong, D., "Comparison of ELM, GANN, WNN and empirical models for estimating reference evapotranspiration in humid region of Southwest China", *Journal of Hydrology*, 536: 376–383 (2016).
75. İnternet: Tarım ve Orman Bakanlığı "Karabük ve Tarım", <https://karabuk.tarimorman.gov.tr/Menu/26/Karabuk-Ve-Tarim> (2022).
76. İnternet: İklim. Gen. Tr. "Karadeniz İklimi Türleri ve Özellikleri", <https://www.iklim.gen.tr/karadeniz-iklimi.html> (2022).
77. Topuksak, Ş., "Menfezlerin projelendirilmesinde taşkın debisi saptama yöntemlerinin irdelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, (2021).

ÖZGEÇMİŞ

Aida Kani AHMAT M'BODOU, İlk ve ortaokul eğitimini Çad Cumhuriyeti'nin N'djamena şehrinde tamamladı. Ardından 2013 yılında İstanbul'da Esatpaşa Kız Anadolu İmam Hatip Lisesi'nde lise eğitimine başlayarak 2017'de okul birinciliği ile mezun oldu. 2017 yılında Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimine başladı ve bölüm birinciliği ile 2021 yılında lisans eğitimini tamamladı. 2021 yılından bu yana Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans programı ile eğitimine devam etmektedir.

Yüksek lisans eğitimi sırasında, "4th International Symposium on Civil Engineering and Earth Sciences Applications (IEACES2023)" adlı sempozyumda "Baraj Rezervuarında Biriken Sedimentler ve Uzaklaştırma Yöntemleri" ve "Baraj Rezervuarlarında Gölge Topu ve Yüzer Güneş Panelinin Kullanılabilirliği" başlıklarıyla iki bildiri yayınlamıştır. Ayrıca, Yüksek lisans eğitimi sırasında Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon'unda (BAP) KBÜBAP-22-YL-088 numaralı projede araştırmacı olarak görev almaktadır.