
Araştırma Makalesi / Research Article

Doğu Anadolu Bölgesi'nde Thornthwaite tipi aylık su bilançosu analizi

Emre TOPÇU*

*Kafkas Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, Kars
(ORCID: 0000-0003-0728-7035)*

Öz

Kurak ve yarı kurak bölgelerdeki su kaynakları, iklim değişikliği ve artan su taleplerinden büyük ölçüde etkilenmektedir. Aylık yüzeysel akış hidrolojik çalışmalarda en önemli faktörlerden biridir. Aylık ortalama yüzeysel akış, havzaların bölgesel aylık su dengesi modelleri ile tahmin edilebilmektedir. Bu çalışmada Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesi'nde bulunan 13 meteoroloji istasyonunun 2010-2018 yılları arasındaki aylık toplam yağış ve aylık ortalama sıcaklık verileri kullanılarak Thornthwaite tipi aylık su bilançosunun hesap edilmesi amaçlanmıştır. Potansiyel evapotranspirasyon Hamon metodu kullanılarak elde edilmiştir. Su bilançosu parametre sonuçları her istasyon için ayrı olarak verilmiştir. Sonuçlara göre Elazığ, Erzincan, Iğdır ve Malatya istasyonlarında su fazlası ve yüzeysel akış yoktur. Su açığının en fazla olduğu il Malatya istasyonu olarak tespit edilirken yüzeysel akışın en fazla olduğu istasyon Bitlis istasyonu olarak tespit edilmiştir. Çalışma alanındaki sulak alanların korunması için kurak bölgelerin su kaynakları yönetiminde yeterli su talebini belirlemek için Thornthwaite tipi aylık su bilançosu modeli kullanılabilir.

Anahtar kelimeler: Evaporasyon, Thornthwaite, Su Bilançosu, Doğu Anadolu Bölgesi.

An analysis of Thornthwaite type monthly water balance in Eastern Anatolia Region

Abstract

Water resources in arid and semi-arid regions are greatly affected by climate change and increasing water demands. Monthly runoff is one of the most important factors in hydrological studies. The monthly average runoff can be estimated by regional monthly water balance models. In this study, it is aimed to calculate the Thornthwaite type monthly water balance at 13 meteorological stations located in the Eastern Anatolia Region of Turkey by using monthly total precipitation and monthly mean temperature values in 2010-2018 period. Potential evapotranspiration was obtained using the Hamon method. The results of the water balance tables are given for each station. According to the results, there is no surplus or discharge of water in Elazığ, Erzincan, Iğdır and Malatya stations. Water deficit is at the most Malatya station. Bitlis station is the station with the highest runoff. The Thornthwaite type monthly water balance model can be used to determine the sufficient water demand for the management of arid areas in water resources for protection of wetlands in the study area.

Keywords: Evaporation, Thornthwaite, Water Balance, Eastern Anatolia Region.

1. Giriş

Dünya'daki önemli iklim değişikliği etkilerinin çoğu, yağış ve su mevcudiyeti ile ilişkilidir. İklim değişikliği, özellikle sıcaklığın buharlaşmaya etkisi ve artan yağış değişkenliği nedeniyle göller, nehir havzaları ve suyolları ile ilgili kanıtlarda ortaya çıkacaktır. Azalan yağış ve su kıtlığı, tarımsal üretim ve gıda güvenliği üzerinde önemli olumsuz etkiye sahip olacaktır [1]. Bir su bilançosu, bir proje alanına giren ve çıkan tüm suyun muhasebesidir. Bu alan bir sulak alan, göl veya ilgi çekici herhangi bir nokta olabilir. Bir bölgenin ekonomik olarak kalkınması, doğal su kaynağını değiştirebilir ve özellikle yakındaki göller veya sulak alanlar varsa, bu alanları ciddi şekilde etkileyebilir. Aynı zamanda göller,

*Sorumlu yazar: emretopcu01@gmail.com

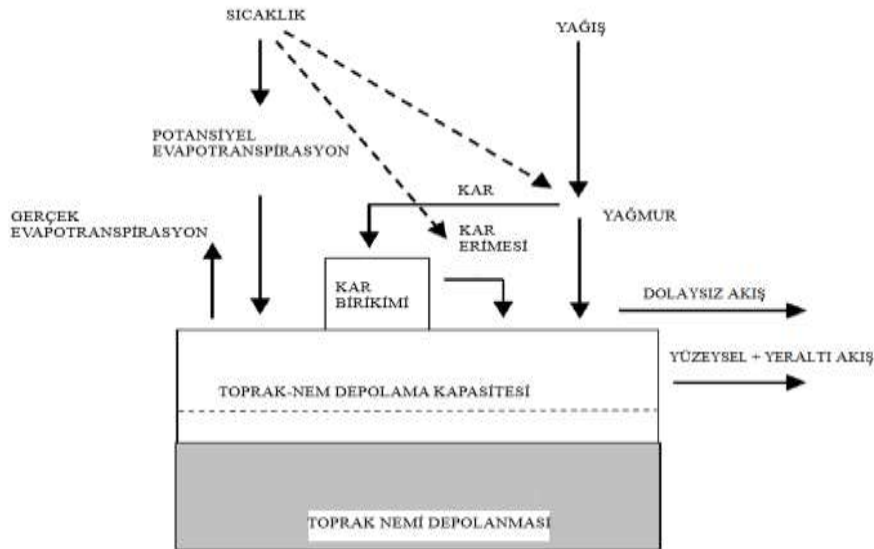
Geliş Tarihi: 09.01.2019, Kabul Tarihi: 09.05.2019

buldukları yerin hidrolojik çevirimi ile yakından ilgilidir ve iklim değişikliklerinin hassas belirteçleridir [2]. Bu etkilerin büyüklüğünü belirlemek ve olası azaltma eylemlerini değerlendirmek için bir su bilançosu gereklidir. Bir su bilançosu, hidrolojik döngünün çeşitli bileşenlerini tanımlar. Su bilançosu tipik olarak şunları içermektedir: Yağış (Y), Buharlaşma (B), Evapotranspirasyon (ET), Yüzeysel akış (YA), Yeraltı suyu akışı (YSA). Su bilançosu bu bileşenlerle ilgili bir denklem olarak ifade edilir ($\Delta S = Y - B - ET \pm YA \pm YSA$). Örneğin, denklemin sağ tarafındaki ifade pozitif ise, depolama artacak ve ilgilenilen alandaki su seviyesi artacaktır. Depodaki pozitif bir değişim genellikle artı değer (surplus) olarak adlandırılırken, depodaki bir azalma ise açık (deficit) ile ifade edilir. Depodaki değişiklik genellikle mm cinsinden açıklanmaktadır.

Su bilançosu denkleminin ilk üç terimi, yağış, buharlaşma ve evapotranspirasyon büyük ölçüde kalkınmadan etkilenmeyen doğal süreçlerdir. Ancak, arazi kullanımındaki değişiklikler yüzeysel akışı ve yeraltı suyu akışını önemli ölçüde etkileyebilir. Örneğin, ticari gelişim sulak alanlara giren yüzey akışını engelleyebilir ve yağmur suyu kontrol havuzuna yönlendirebilir. Bu yağmur suyu havzası, buharlaşana veya çıkış akımına bırakana kadar suyu tutabilir. Her iki durumda da, sulak alan, gelişimden önce mevcut olan yüzeysel akıştan mahrumdur. Benzer şekilde, su kaynağı kuyuları yeraltı suyu seviyelerini kalıcı olarak düşürebilir ve yüzeysel akış yönlerini değiştirebilir.

Su bilançosu belirli bir süre için hesaplanır. Kalıcı projeler günlük veya aylık veriler kullanılarak değerlendirilebilir, elde edilen net fazla veya açık, mevsimsel veya yıllık değer olarak ifade edilir. Bakım için bir rezervuarın düşürülmesi gibi kısa vadeli projeler, saatlik veya haftalık veriler kullanılarak değerlendirilebilir ve sonuçları aylık veya mevsimsel olarak ifade edilebilir. Bir su bilançosu, çeşitli koşullar için hesaplanmalıdır.

Su bilançosu hesaplamasının en zor kısmı net fazlalığın veya açığın doğru bir şekilde tahmin edilmesine izin veren verileri bulmaktır. Eğer proje esas olarak yüzeysel akışa bağlıysa, yılların normal, normalin altında ve normal yağışların üzerinde olduğunu tanımlayabilir ve bu bilgiyi bu üç iklim koşulunda yüzey akışını belirlemek için kullanabilir. Ancak, proje alanı yer altı suyu akışına bağlıysa, bir dizi koşul için ideal olarak yer altı suyu akış verileri kullanılmalıdır. Bir alanın yıllık su bilançosu - yıl boyunca suyun yüzeysel akışını -bitki örtüsü türünü ve bolluğunu belirler, ağaçlar için elverişli ve elverişsiz koşulları gösterir. Diğer bitki örtüsü ve sulama talebi için bir vekil olarak hizmet edebilir. Bir de, su kaynağı, toprak suyu depolaması ve su talebinin doğrusal olmayan bir kombinasyonunu temsil eder. Yağış miktarı, kar olarak düşen oran ve karın erimesi bir sahadaki su kaynağını belirler [3]. Bir bölge için su bilançosu diyagramı Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. Su bilançosu diyagramı [4]

Sıcaklık ve yağışa dayalı su bilançosu modelleri Thornthwaite ve Mather [5] tarafından geliştirilmiştir. Thornthwaite yöntemi rüzgâr hızı, bulutluluk ve radyasyon gibi parametreleri kullanmasa da en iyi sonucu vermektedir [6].

Bu çalışmada Türkiye'nin 7 bölgesinden biri olan Doğu Anadolu Bölgesi'nde Thornthwaite tipi aylık su bilançosu hesaplanması amaçlanmıştır. Su bilançosu diyagramında yer alan aylık ortalama sıcaklığın ve aylık toplam yağışın tüm istasyonlar için eksiksiz olduğu 2010-2018 yılları arasında hesap yapılmıştır. Doğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan toplamda 13 ilin yağış ve sıcaklık verileri kullanılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Çalışma alanı olarak Türkiye'nin doğusunu kaplayan Doğu Anadolu Bölgesi seçilmiştir. Doğu Anadolu Bölgesi'nin Türkiye'deki konumu Şekil 2'de görülmektedir [7]. Toplamda 150.210 km²'lik bir alanı kaplamaktadır. Türkiye'de kış şartlarının en ağır geçtiği bölgedir. Su bilançosunun temel parametrelerinden olan kar örtüsü bu bölgede tüm kış mevsimi boyunca bulunmaktadır.

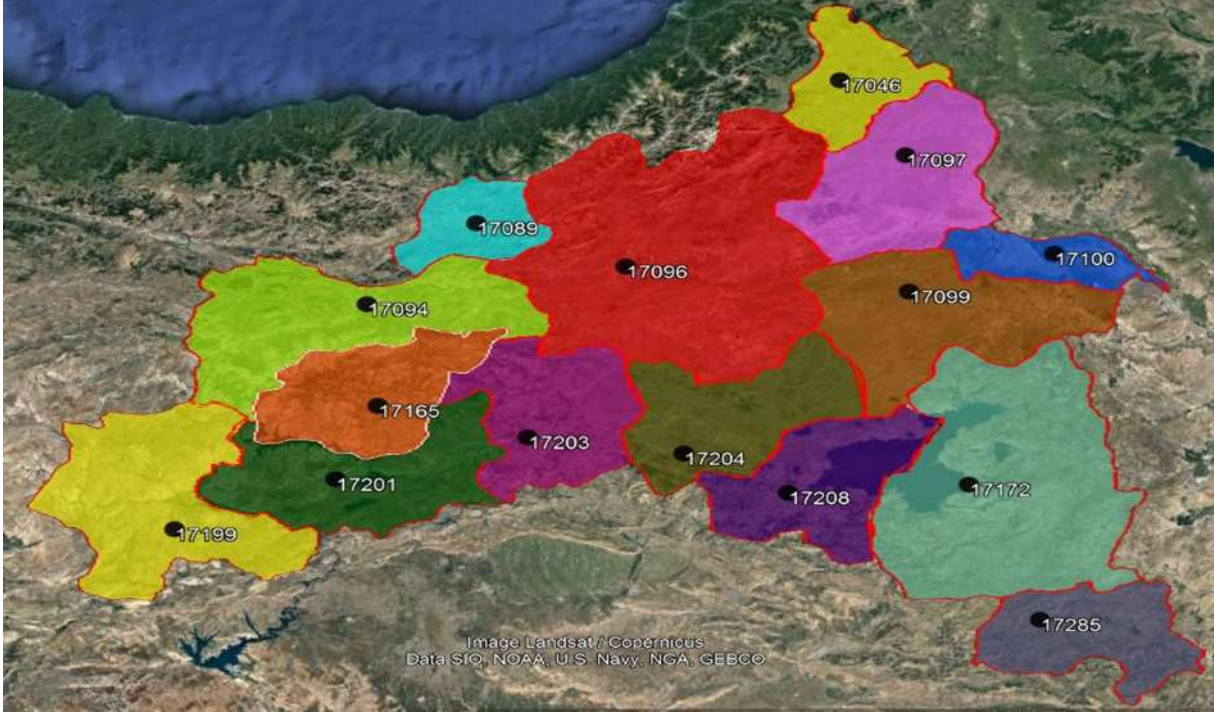


Şekil 2. Doğu Anadolu Bölgesi'nin Türkiye'deki konumu [7]

Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki 13 ilin il merkezlerindeki meteoroloji istasyonları kullanılarak analiz gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan istasyonlar, rakımları, enlemleri ve boylamları Tablo 1'de verilmektedir. Meteoroloji istasyonlarının konumu ise Şekil 3'te verilmektedir.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan istasyonların rakım, enlem ve boylamları

İstasyon No	İsim	Rakım (m)	Enlem (K)	Boylam (D)
17046	Ardahan	1827	41.1061	42.7055
17094	Erzincan	1216	39.7523	39.4868
17097	Kars	1777	40.6042	43.1073
17099	Ağrı	1646	39.7253	43.0522
17100	Iğdır	856	39.9227	44.0523
17165	Tunceli	981	39.1058	39.5408
17172	Van	1675	38.4693	43.346
17199	Malatya	950	38.3367	38.2173
17201	Elazığ	989	38.6443	39.2561
17203	Bingöl	1139	38.8847	40.5007
17204	Muş	1322	38.7509	41.5023
17208	Bitlis	1785	38.475	42.1625
17285	Hakkâri	1727	37.5745	43.7388



Şekil 3. Meteoroloji istasyonlarının konumları

2.2. Metot

Thornthwaite tipi aylık su bilançosu modelleri, yağış alanının kararlı durumdaki mevsimsel (iklimsel ortalama) veya sürekli değerlerini veya bölgesel su girdisini, kar örtüsünü, toprak nemini ve evapotranspirasyonu simüle etmek için kullanılan kavramsal modellerdir. Bu tip modeller için veri girdisi olarak, ilgili bölgeyi temsil eden yağış (P_m , $m:1, 2, 3, \dots, 12$) ve sıcaklık (T_m) parametreleri kullanılmaktadır. Bu parametreler kararlı durumdaki (steady-state) uygulamalarda aylık iklimsel ortalamalardır. Bu tarz modeller tipik olarak tek bir parametreye sahiptirler ve o da toprağın toprak-su depolama kapasitesidir. $Toprak_{maks}$ Denklem 1'deki gibi hesap edilir.

$$Toprak_{maks} = \theta_{ak} \cdot Z_{kb} \quad (1)$$

Burada θ_{ak} alan kapasitesini, Z_{kb} kök bölgesinin düşey derinliğini göstermektedir. $Toprak_{maks}$ bu çalışmada 100 mm olarak varsayılmıştır. Çalışmaya göre $Toprak_{maks}$ ayrıca belirlenebilir.

Aylık yağış Yağmur_m ve Kar_m olarak ikiye bölünür (Denklem 2 ve Denklem 3);

$$Yağmur_m = F_m \cdot P_m \quad (2)$$

$$Kar_m = (1 - F_m) \cdot P_m \quad (3)$$

Burada F_m erime faktörünü göstermektedir. Erime faktörünü (F_m) basitçe hesaplayan yaklaşım Denklem 4'te verilmektedir.

$$F_m = 0, T_m \leq 0 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$F_m = 0.167 \cdot T_m, 0 \text{ } ^\circ\text{C} < T_m < 6 \text{ } ^\circ\text{C}; \quad (4)$$

$$F_m = 1, T_m \geq 6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Erime faktörü ayrıca sıcaklık-gösterge kar erimesi modelinde de aylık kar erimesini belirlemek için kullanılır (Denklem 5);

$$Erime_m = F_m \cdot (KÖ_{m-1} + Kar_m) \quad (5)$$

Burada KÖ kar örtüsünü, $KÖ_{m-1}$ ise m-1 ayının sonundaki kar örtüsünün su eşdeğerini göstermektedir. M ayının sonundaki kar örtüsü Denklem 6'daki gibi hesaplanır,

$$KÖ_m = (1 - F_m)^2 \cdot P_m + (1 - F_m) \cdot KÖ_{m-1} \quad (6)$$

O halde aylık su girdisi (veya kaynağı, water input) Denklem 7'deki gibi elde edilir:

$$W_m = Yağmur_m + Erime_m \quad (7)$$

Eğer su girdisi potansiyel evapotranspirasyonu aşarsa ($W_m - PET_m \geq 0$), evapotranspirasyon potansiyel oranda devam eder ve oluşan fazlalık toprak suyunu yeniden doldurur. Fakat toprak zaten su tutma kapasitesine ulaştıysa, toprak nemi sabit kalır ve fazlalık yüzeysel akışa dönüşür. Potansiyel evapotranspirasyon Hamon [8] denklemi ile hesap edilir (Denklem 8),

$$PET_m = 29.8 * Günler * GU * \frac{e_a(T_a)}{T_a + 273.2} \quad (8)$$

Burada Günler ay içindeki gün sayısını, GU ay için ortalama gün uzunluğunu ve $e_a(T_a)$, T_a ortalama sıcaklığındaki doymuş buhar basıncını göstermektedir. $e_a(T_a)$ Denklem 9'deki gibi hesaplanır,

$$e_a = 0.611 * \exp\left(\frac{17.3 * T_a}{T_a + 237.3}\right) \quad (9)$$

Potansiyel evapotranspirasyon, sıcaklığın üssel artan fonksiyonu olarak modellenmiştir. Örneğin potansiyel evapotranspirasyonun 20 °C'den 22 °C'ye yükselmesi, 10 °C'den 12 °C'ye yükselmeye göre çok daha fazladır.

Gün uzunluğu olan GU (saat), Denklem 10'daki gibi ifade edilir [9].

$$GU_m = \frac{2 * \cos^{-1}[-\tan(\delta_m) * \tan(\Lambda)]}{\omega} \quad (10)$$

Burada δ_m ayın 15. gününde akşamüzeri güneşe göre hesaplanan eğim açısını, Λ enlemi, ω ise dünyanın dönüşünün açısal hızını göstermektedir (0.2618 radyan/saat).

Toprak su bilançosu Denklem 11'deki gibi elde edilir.

$$Toprak_m = \text{minimum}\{Toprak_{maks}, [(W_m - PET_m) + Toprak_{m-1}]\} \quad (11)$$

Burada $Toprak_{maks}$, toprak profilinin ilk 200 cm'sindeki toprak su tutma kapasitesini göstermektedir.

Eğer PET su girdisinden daha büyükse ($W_m < PET_m$), evapotranspiration su girdisi + toprak su deposundan uzaklaşan kısma eşit olur. Toprak kuru hale geldikçe toprak suyunun ayrışması daha zor bir hale gelir. Toprak su deposundan uzaklaşan kısım Denklem 12'deki gibi hesap edilir,

$$\Delta_{Toprak} = Toprak_{m-1} - Toprak_m = Toprak_{m-1} * \left[1 - \exp\left(-\frac{(PET_m - W_m)}{Toprak_{maks}}\right)\right] \quad (12)$$

Bu durumda gerçek evapotranspirasyon (GET_m) PET_m 'in veya ($\Delta_{Toprak} + W_m$)'in daha küçüğüne eşit olur. Açık ise PET_m ile GET_m arasındaki farktır.

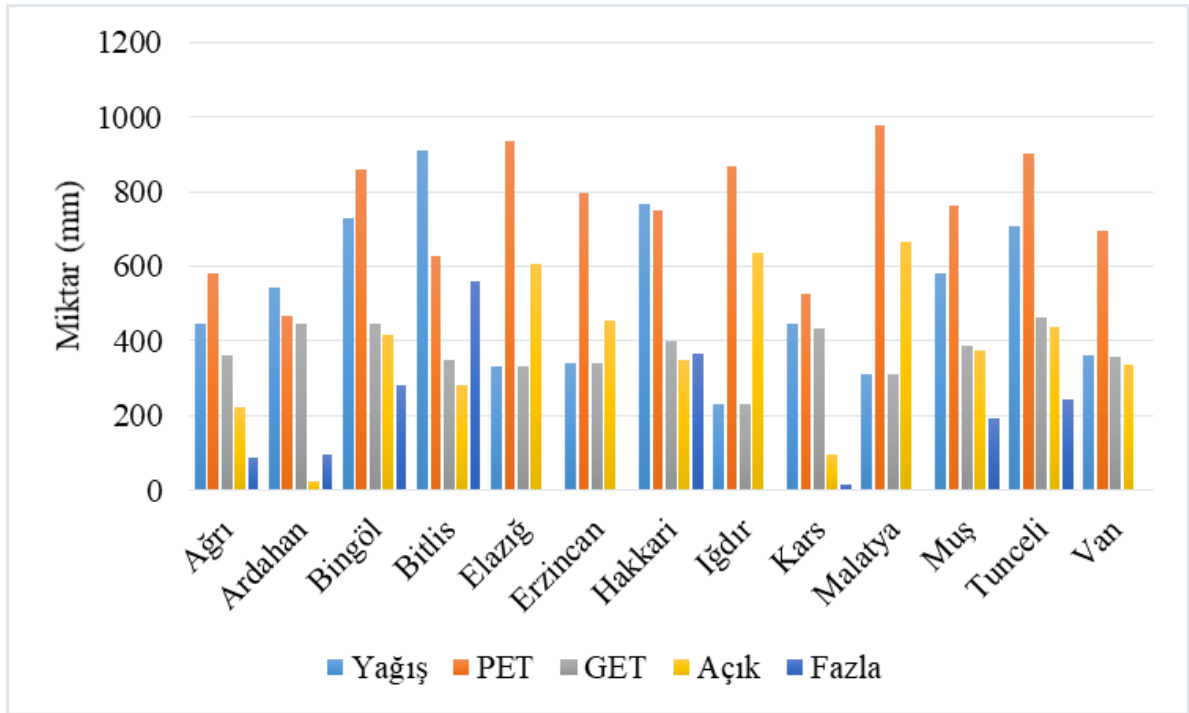
3. Bulgular ve Tartışma

Çalışmanın bu bölümünde Thornthwaite tipi su bilançosu yöntemi ile hesap edilen su bilançosu bileşenlerinin yıllık döngüsü il il tablo ve grafik şeklinde verilmiştir. Bazı illerde sadece tablo olarak verilmesi tercih edilmiştir. Tablo 2'de genel olarak tüm istasyonların 2010-2018 yılları arasındaki su bilançosuna göre açık (deficit) ve fazla (surplus) değerleri görülmektedir. Tablo 2'ye göre yağışın en fazla olduğu istasyon yıllık 908 mm ortalama ile Bitlis istasyonudur. En az yağış ise Iğdır istasyonundadır. Potansiyel evapotranspirasyon en az Ardahan ilinde iken en yüksek Malatya ilindedir. Su bilançosuna göre açığın en fazla olduğu il Malatya'dır. Su fazlasının en çok olduğu il ise Bitlis'tir. Elazığ, Erzincan, Malatya ve Iğdır istasyonlarında ise yüzeysel akışa geçecek su fazlası yoktur. Şekil

4’de ise bu değerlerin grafik hali yer almaktadır. İstasyonlarda **Fazla** olarak bulunan değerler yüzeysel akışa geçmiştir. Yüzeysel akış ve Fazla değerleri aynıdır.

Tablo 2. İstasyonların su bilançosuna göre Açık ve Fazla değerleri (mm/yıl)

	Yağış	PET	GET	Açık	Fazla
Ağrı	447	581	360	221	87
Ardahan	542	469	445	24	97
Bingöl	727	861	445	416	282
Bitlis	908	628	348	280	560
Elazığ	331	936	331	605	0
Erzincan	341	796	341	455	0
Hakkari	767	749	399	350	368
Iğdır	233	870	233	637	0
Kars	447	528	432	96	15
Malatya	313	977	313	664	0
Muş	581	761	387	374	194
Tunceli	709	901	465	436	244
Van	363	693	358	335	5



Şekil 4. İstasyonların su bilançosu parametre grafikleri

Thornthwaite tipi aylık su bilançosunda yer alan kısaltmalar ve açıklamaları Tablo 3’te verilmektedir.

Tablo 3. Tablolarda yer alan parametreler ve açıklamaları

Parametre	Açıklama
AY	Aylık Yağış
AOS	Aylık Ort. Sıcaklık
EF	Erime Faktörü
YODY	Yağmur Olarak Düşen Yağış
KODY	Kar Olarak Düşen Yağış
KÖ	Kar Örtüsü
KE	Kar Erimesi
SG	Su Girdisi
PET	Potansiyel Evapotranspirasyon
NSG	Net Su Girdisi
TN	Toprak Nemi
ΔTN	Toprak Nemindeki Değişim
GET	Gerçek Evapotranspirasyon
B&A	Beslenme&Akış

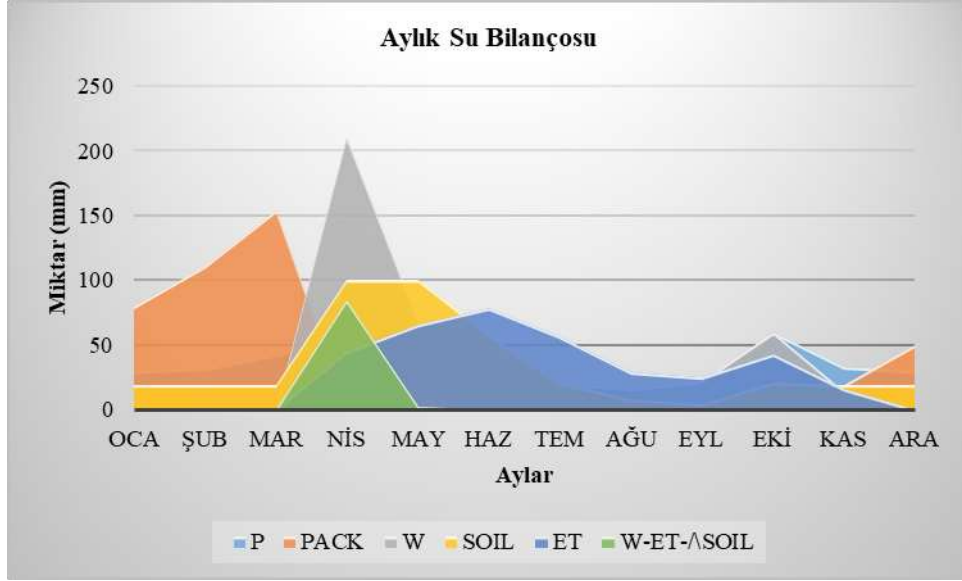
3.1. Ağrı İli Su Bilançosu Sonuçları

Tablo 4'e göre Ağrı istasyonunda yıllık toplam yağış 447 mm'dir. Kar birikimi Kasım, Aralık, Ocak, Şubat ve Mart aylarında gerçekleşmektedir. Kar erimesinin neredeyse tamamı Nisan ayında gerçekleşmektedir. Hamon metoduna göre PET 581 mm'dir. En yüksek PET Temmuz ayında görülmüştür. 360 mm GET sonucunda 87 mm yüzeysel akış gerçekleşmiştir. Haziran ayından Ekim ayına kadar su eksiği görülür. Yağış PET'den küçüktür. Toprak nemi Nisan ve Mayıs aylarında maksimum kapasitededir. Ağrı İli Thornthwaite tipi aylık su bilançosu grafiği Şekil 5'te görülmektedir.

Tablo 4. Ağrı İli Thornthwaite tipi su bilançosu tablosu

Parametre	AYLAR												Yıl
	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	
AY	30	32	43	56	68	37	21	16	22	59	33	30	447
AOS	-8.2	-7.6	-0.1	7.6	12.2	17.0	21.9	22.5	17.3	9.6	1.5	-6.5	
EF	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.25	0.00	
YODY	0	0	0	56	68	37	21	16	22	59	8	0	287
KODY	30	32	43	0	0	0	0	0	0	0	25	30	160
KÖ	79	111	154	0	0	0	0	0	0	0	19	49	
KE	0	0	0	154	0	0	0	0	0	0	6	0	160
SG	0	0	0	210	68	37	21	16	22	59	14	0	447
PET	0	0	0	45	66	92	120	116	78	43	22	0	581
NSG	0	0	0	165	3	-55	-99	-100	-56	16	-8	0	
TN	19	19	19	100	100	58	21	8	5	21	19	19	
ΔTN	0	0	0	81	0	-42	-36	-14	-3	16	-2	0	
GET	0	0	0	45	66	79	57	29	25	43	16	0	360
B&A	0	0	0	85	3	0	0	0	0	0	0	0	87

*AOS °C, diğer parametreler mm cinsindedir.



Şekil 5. Ağrı İli Thornthwaite tipi aylık su bilançosu grafiği

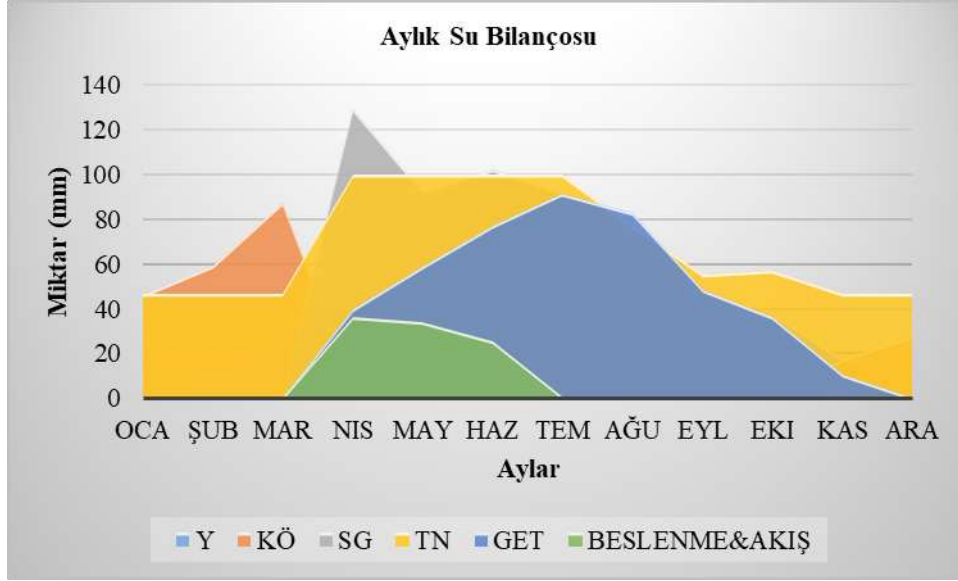
3.2. Ardahan İli Su Bilançosu Sonuçları

Tablo 5'e göre Ardahan istasyonu Türkiye'nin ve çalışma bölgesinin en soğuk şehridir. Yıllık 542 mm yağışa sahiptir. En yüksek PET Temmuz ayında görülmektedir. 2010-2018 yılları arasında ortalama 97 mm yüzeysel akış gerçekleşmiştir. Nisan, Mayıs, Haziran ve Temmuz aylarında toprak nemi maksimum kapasitededir. Kar örtüsü Kasım ayından Nisan ayına kadar görülür. Nisan ayında kar erimeleri başlar. Ağustos ve Ekim aylarında su eksiği ortaya çıkar. Ardahan İli Thornthwaite tipi aylık su bilançosu grafiği Şekil 6'da görülmektedir.

Tablo 5. Ardahan İli Thornthwaite tipi su bilançosu tablosu

Parametre	AYLAR												Yıl
	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	
AY	18	13	28	47	88	102	92	60	27	38	18	10	542
AOS	-8.4	-7.7	-0.5	5.7	10.3	14.0	17.1	17.3	13.1	7.0	0.0	-6.4	
EF	0.00	0.00	0.00	0.95	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	
YODY	0	0	0	44	88	102	92	60	27	38	0	0	451
KODY	18	13	28	3	0	0	0	0	0	0	18	10	90
KÖ	46	59	88	5	0	0	0	0	0	0	18	27	
KE	0	0	0	85	5	0	0	0	0	0	0	0	90
SG	0	0	0	129	93	102	92	60	27	38	0	0	542
PET	0	0	0	40	59	77	91	86	60	36	20	0	469
NSG	0	0	0	90	34	25	1	-26	-34	2	-20	0	
TN	47	47	47	100	100	100	100	77	55	57	47	47	
^TN	0	0	0	53	0	0	0	-23	-22	2	-10	0	
GET	0	0	0	40	59	77	91	83	49	36	10	0	445
B&A	0	0	0	36	34	25	1	0	0	0	0	0	97

*AOS °C, diğer parametreler mm cinsindedir.



Şekil 6. Ardahan İli Thornthwaite tipi aylık su bilançosu grafiği

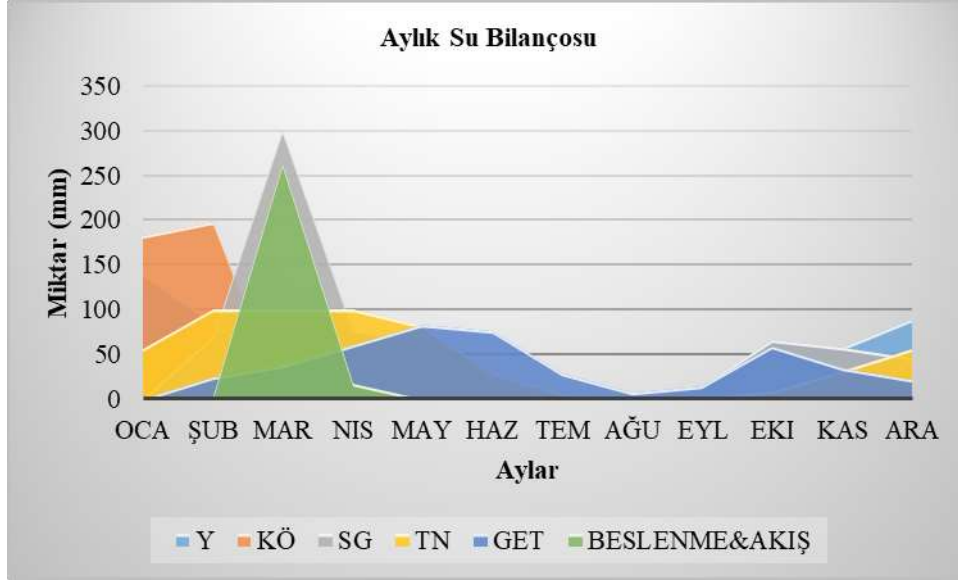
3.3. Bingöl İli Su Bilançosu Sonuçları

Tablo 6'ya göre Bingöl istasyonunda yıllık ortalama 727 mm yağış görülür. Kar örtüsü Aralık, Ocak ve Şubat aylarında oluşur. Kar erimesi ise Şubat ayında başlar ve Mart ayında maksimuma ulaşır. Mayıs ayından Ekim ayına kadar su açığı gözlemlenir. En yüksek PET Temmuz ayında meydana gelir. Toprak nemi Şubat, Mart ve Nisan aylarında maksimum kapasitededir. 2010-2018 yılları arasında yıllık ortalama 283 mm yüzeysel akış meydana gelmiştir. Yağış PET'den küçüktür. Bingöl İli Thornthwaite tipi aylık su bilançosu grafiği Şekil 7'de görülmektedir.

Tablo 6. Bingöl İli Thornthwaite tipi su bilançosu tablosu

Parametre	AYLAR												Yıl
	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	
AY	141	86	102	78	65	23	5	2	14	66	57	88	727
AOS	-0.8	1.3	6.4	12.2	16.5	22.6	27.2	27.3	22.0	14.5	7.4	1.9	
EF	0.00	0.21	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.31	
YODY	0	18	102	78	65	23	5	2	14	66	57	27	458
KODY	141	68	0	0	0	0	0	0	0	0	0	61	269
KÖ	183	198	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42	
KE	0	52	198	0	0	0	0	0	0	0	0	19	269
SG	0	70	300	78	65	23	5	2	14	66	57	46	727
PET	0	24	38	60	85	126	161	151	102	59	34	22	861
NSG	0	47	262	18	-20	-103	-155	-149	-88	8	24	24	
TN	56	100	100	100	82	29	6	1	1	8	32	56	
ΔTN	0	44	0	0	-18	-53	-23	-5	-1	8	24	24	
GET	0	24	38	60	83	76	29	7	14	59	34	22	445
B&A	0	3	262	18	0	0	0	0	0	0	0	0	283

*AOS °C, diğer parametreler mm cinsindedir.



Şekil 7. Bingöl İli Thornthwaite tipi aylık su bilançosu grafiği

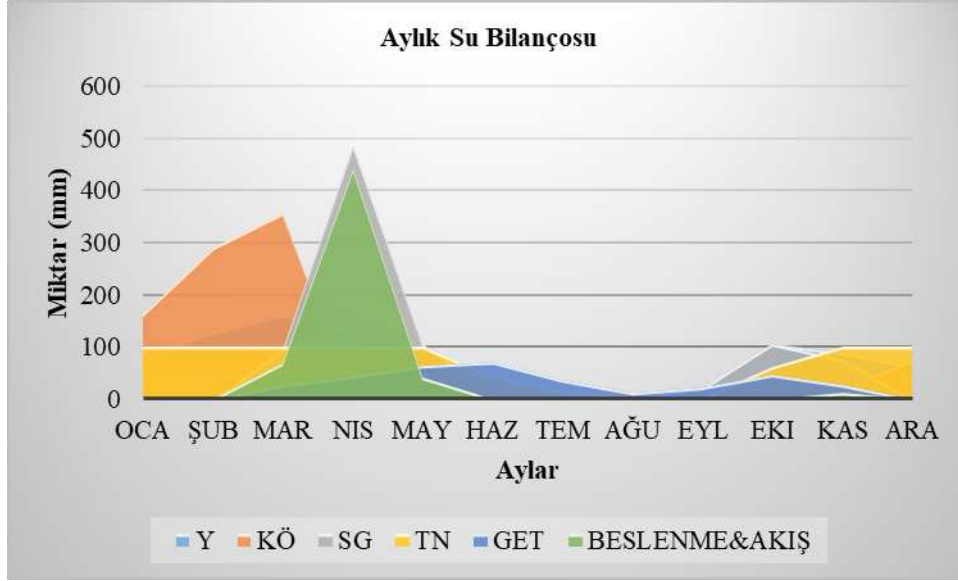
3.4. Bitlis İli Su Bilançosu Sonuçları

Tablo 7'ye göre çalışma alanında en yüksek kar örtüsü miktarı Bitlis İli'ndedir. Kasım ve Mart ayları arasında kar örtüsü oluşur. Mart ve Nisan aylarında kar erimeleri gerçekleşir. Kasım ayından Mayıs ayına kadar toprak nemi maksimum kapasitededir. Haziran ve Eylül ayları arasında su açığı meydana gelir. Yağış PET'den büyüktür. 2010-2018 yılları arasında yıllık ortalama 561 mm yüzeysel akış meydana gelmiştir. Bitlis İli Thornthwaite tipi aylık su bilançosu grafiği Şekil 8'de görülmektedir.

Tablo 7. Bitlis İli Thornthwaite tipi su bilançosu tablosu

Parametre	AYLAR												Yıl
	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	
AY	85	127	162	129	105	14	6	3	19	106	89	63	908
AOS	-4.6	-3.2	1.0	7.3	12.1	17.9	22.9	23.0	18.0	10.6	3.7	-3.0	
EF	0.00	0.00	0.16	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.61	0.00	
YODY	0	0	26	129	105	14	6	3	19	106	54	0	463
KODY	85	127	136	0	0	0	0	0	0	0	35	63	446
KÖ	162	289	356	0	0	0	0	0	0	0	14	77	
KE	0	0	68	356	0	0	0	0	0	0	21	0	446
SG	0	0	94	485	105	14	6	3	19	106	75	0	908
PET	0	0	26	44	65	96	126	118	81	46	26	0	628
NSG	0	0	68	441	41	-81	-119	-115	-62	60	49	0	
TN	100	100	100	100	100	44	13	4	2	62	100	100	
∧TN	0	0	0	0	0	-56	-31	-9	-2	60	38	0	
GET	0	0	26	44	65	70	37	12	21	46	26	0	348
B&A	0	0	68	441	41	0	0	0	0	0	11	0	561

*AOS °C, diğer parametreler mm cinsindedir.



Şekil 8. Bitlis İli Thornthwaite tipi aylık su bilançosu grafiği

3.5. Elazığ İli Su Bilançosu Sonuçları

Tablo 8'e göre Elazığ istasyonunda su fazlası ya da yüzeysel akış oluşmamıştır. Kar örtüsü Aralık ve Şubat ayları arasında oluşur. Kar erimesi de Aralık ve Mart ayları arasında gerçekleşir. Toprak nemi 2010-2018 yılları arasında maksimum kapasite olan 100 mm'ye ulaşamamıştır. PET değeri neredeyse meydana gelen yağışın 3 katıdır. Şubat ve Mart ayları dışında su fazlası yoktur. Buradaki su fazlası da kar erimelerinden kaynaklanmaktadır.

Tablo 8. Elazığ İli Thornthwaite tipi su bilançosu tablosu

Parametre	AYLAR												Yıl
	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	
AY	35	41	39	43	55	10	2	0	8	32	33	33	331
AOS	1.4	3.3	7.9	13.2	17.6	23.7	28.0	28.3	23.1	15.3	7.9	2.6	
EF	0.23	0.55	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.43	
YODY	8	23	39	43	55	10	2	0	8	32	33	14	267
KODY	27	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	64
KÖ	29	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	
KE	9	26	21	0	0	0	0	0	0	0	0	8	64
SG	17	49	60	43	55	10	2	0	8	32	33	22	331
PET	22	27	41	64	90	135	168	160	109	62	35	23	936
NSG	-5	22	19	-21	-36	-125	-166	-159	-101	-30	-1	-1	
TN	0	22	41	33	23	7	1	0	0	0	0	0	
ΔTN	0	22	19	-8	-10	-16	-5	-1	0	0	0	0	
GET	17	27	41	51	64	26	7	1	8	32	33	22	331
B&A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

*AOS °C, diğer parametreler mm cinsindedir.

3.6. Erzincan İli Su Bilançosu Sonuçları

Tablo 9'a göre Erzincan istasyonunda da su fazlası ya da yüzeysel akış meydana gelmemiştir. En yüksek PET değeri Temmuz ayında görülmüştür. PET değeri yağıştan daha fazladır.

Tablo 9. Erzincan İli Thornthwaite tipi su bilançosu tablosu

Parametre	AYLAR												Yıl
	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	
AY	29	26	43	51	66	24	18	5	13	29	22	16	341
AOS	-0.9	1.4	6.5	11.9	15.9	20.9	25.0	25.5	20.5	12.9	6.0	1.0	
EF	0.00	0.24	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.17	
YODY	0	6	43	51	66	24	18	5	13	29	22	3	280
KODY	29	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	61
KÖ	39	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	
KE	0	14	45	0	0	0	0	0	0	0	0	2	61
SG	0	20	88	51	66	24	18	5	13	29	22	5	341
PET	0	24	38	59	82	115	143	137	94	53	30	20	796
NSG	0	-4	50	-8	-16	-91	-125	-132	-81	-24	-8	-16	
TN	0	0	51	47	40	16	5	1	1	0	0	0	
ΔTN	0	0	50	-4	-7	-24	-11	-3	-1	0	0	0	
GET	0	20	38	55	73	48	29	9	14	29	22	5	341
B&A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

*AOS °C, diğer parametreler mm cinsindedir.

3.7. Hakkâri İli Su Bilançosu Sonuçları

Tablo 10. Hakkâri İli Thornthwaite tipi su bilançosu tablosu

Parametre	AYLAR												Yıl
	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	
AY	78	64	108	100	155	33	5	5	8	78	69	65	767
AOS	-2.6	-0.7	4.5	10.1	15.0	21.1	25.8	25.9	21.3	13.3	6.2	-0.5	
EF	0.00	0.00	0.76	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	
YODY	0	0	82	100	155	33	5	5	8	78	69	0	534
KODY	78	64	26	0	0	0	0	0	0	0	0	65	233
KÖ	143	206	56	0	0	0	0	0	0	0	0	65	
KE	0	0	176	56	0	0	0	0	0	0	0	0	233
SG	0	0	258	156	155	33	5	5	8	78	69	0	767
PET	0	0	33	53	77	115	148	139	98	55	31	0	749
NSG	0	0	225	104	78	-82	-143	-134	-90	24	37	0	
TN	62	62	100	100	100	44	11	3	1	25	62	62	
ΔTN	0	0	38	0	0	-56	-33	-8	-2	24	37	0	
GET	0	0	33	53	77	89	38	13	9	55	31	0	399
B&A	0	0	187	104	78	0	0	0	0	0	0	0	368

*AOS °C, diğer parametreler mm cinsindedir.

Tablo 10'a göre Hakkâri istasyonunda yıllık yağış miktarı hesap edilen Potansiyel Evapotranspirasyona göre fazladır. Mart, Nisan ve Mayıs aylarında toprak nemi maksimum kapasitededir. Kar erimeleri Mart ve Nisan aylarında meydana gelir. Haziran ve Eylül ayları arasında su açığı oluşur. Hakkâri İli Thornthwaite tipi aylık su bilançosu grafiği Şekil 9'da görülmektedir.



Şekil 9. Hakkâri İli Thornthwaite tipi aylık su bilançosu grafiği

3.8. Iğdır İli Su Bilançosu Sonuçları

Tablo 11'e göre Iğdır istasyonu çalışma alanında en düşük yağışın görüldüğü istasyondur. Düşük yağışın yanında PET değerleri çok yüksektir. GET yıllık yağış miktarıyla aynıdır. Şubat ayından Kasım ayına kadar su eksikliği vardır. Kar erimeleri Şubat ve Mart ayında gerçekleşir. Temmuz ayında PET maksimuma ulaşmıştır.

Tablo 11. Iğdır İli Thornthwaite tipi su bilançosu tablosu

Parametre	AYLAR												Yıl
	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	
AY	10	12	9	35	49	26	13	8	9	33	19	10	233
AOS	-1.3	1.9	8.6	14.2	18.4	23.7	27.4	26.8	22.2	13.9	6.3	-0.4	
EF	0.00	0.31	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	
YODY	0	4	9	35	49	26	13	8	9	33	19	0	205
KODY	10	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	28
KÖ	20	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	
KE	0	9	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28
SG	0	13	28	35	49	26	13	8	9	33	19	0	233
PET	0	25	43	69	96	136	164	148	104	56	31	0	870
NSG	0	-12	-15	-33	-47	-110	-151	-140	-95	-24	-12	0	
TN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ΔTN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
GET	0	13	28	35	49	26	13	8	9	33	19	0	233
B&A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

*AOS °C, diğer parametreler mm cinsindedir.

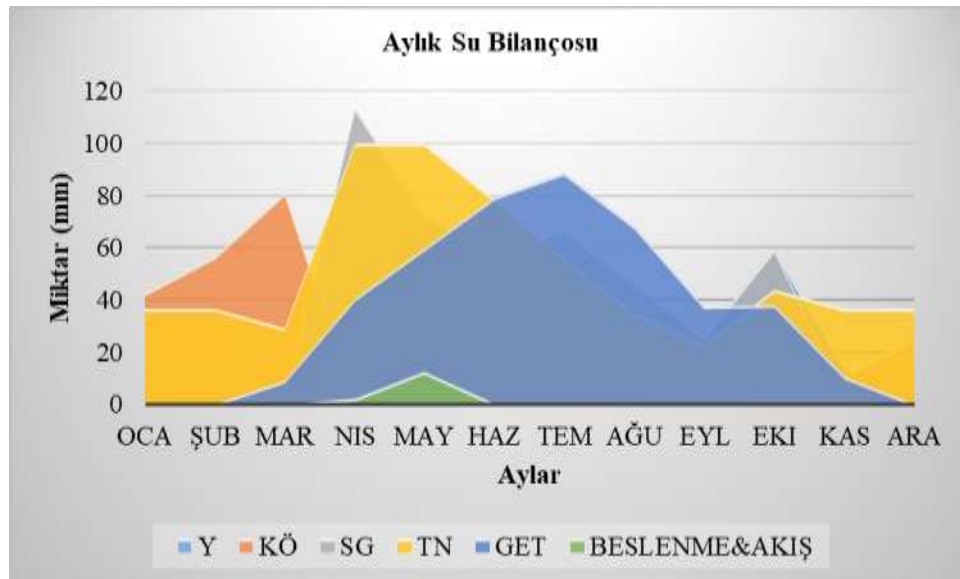
3.9. Kars İli Su Bilançosu Sonuçları

Tablo 12'ye göre Kars istasyonunda yıllık 447 mm yağış görülür. Yağışın 84 mm'si kar olarak düşer. Yıllık PET değeri yıllık yağış değerinden daha fazladır. 2010-2018 yılları arasında ortalama 15 mm yüzeysel akış meydana gelmiştir. En yüksek PET Temmuz ayında görülür. Nisan ve Mayıs aylarında toprak nemi maksimum kapasitesine ulaşmıştır. Kars İli Thornthwaite tipi aylık su bilançosu grafiği Şekil 10'da görülmektedir.

Tablo 12. Kars İli Thornthwaite tipi su bilançosu tablosu

Parametre	AYLAR												Yıl
	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	
AY	17	14	26	32	73	58	67	47	25	59	14	14	447
AOS	-7.9	-6.8	0.1	6.0	10.7	15.1	18.7	18.9	14.9	7.8	0.7	-6.4	
EF	0.00	0.00	0.01	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.12	0.00	
YODY	0	0	0	32	73	58	67	47	25	59	2	0	363
KODY	17	14	25	0	0	0	0	0	0	0	12	14	84
KÖ	43	57	81	0	0	0	0	0	0	0	11	25	
KE	0	0	1	81	0	0	0	0	0	0	2	0	84
SG	0	0	1	113	73	58	67	47	25	59	3	0	447
PET	0	0	24	41	60	82	100	94	67	38	21	0	528
NSG	0	0	-23	73	13	-24	-33	-48	-42	21	-18	0	
TN	37	37	29	100	100	78	56	35	23	44	37	37	
ΔTN	0	0	-8	71	0	-22	-22	-21	-12	21	-7	0	
GET	0	0	9	41	60	79	89	68	37	38	10	0	432
B&A	0	0	0	2	13	0	0	0	0	0	0	0	15

*AOS °C, diğer parametreler mm cinsindedir.



Şekil 10. Kars İli Thornthwaite tipi aylık su bilançosu grafiği

3.10. Malatya İli Su Bilançosu Sonuçları

Tablo 13'e göre Malatya istasyonunda yüzeysel akış meydana gelmemiştir. Toprak nemi Şubat ayı dışında zemin rezervlerinden karşılanmaktadır.

Tablo 13. Malatya İli Thornthwaite tipi su bilançosu tablosu

Parametre	AYLAR												Yıl
	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	
AY	33	46	33	35	41	7	4	3	11	42	30	30	313
AOS	1.6	4.2	8.8	14.2	18.4	24.4	28.7	29.1	24.2	15.9	8.7	3.1	
EF	0.27	0.70	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.52	
YODY	9	32	33	35	41	7	4	3	11	42	30	16	261
KODY	24	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	52
KÖ	23	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	
KE	8	25	11	0	0	0	0	0	0	0	0	7	52
SG	17	57	44	35	41	7	4	3	11	42	30	23	313
PET	22	29	44	68	95	139	174	166	116	64	37	24	977
NSG	-5	28	0	-33	-54	-132	-170	-164	-105	-22	-7	-1	
TN	0	28	28	20	12	3	1	0	0	0	0	0	
ΔTN	0	28	0	-8	-8	-9	-3	0	0	0	0	0	
GET	17	29	44	43	50	16	6	3	11	42	30	23	313
B&A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

*AOS °C, diğer parametreler mm cinsindedir.

3.11. Muş İli Su Bilançosu Sonuçları

Tablo 14. Muş İli Thornthwaite tipi su bilançosu tablosu

Parametre	AYLAR												Yıl
	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	
AY	81	72	92	51	66	26	9	2	13	68	44	56	581
AOS	-4.7	-3.0	4.0	10.7	15.2	21.0	26.2	26.5	21.5	13.4	5.5	-1.9	
EF	0.00	0.00	0.66	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.92	0.00	
YODY	0	0	61	51	66	26	9	2	13	68	41	0	338
KODY	81	72	31	0	0	0	0	0	0	0	3	56	243
KÖ	137	210	81	0	0	0	0	0	0	0	0	56	
KE	0	0	160	81	0	0	0	0	0	0	3	0	243
SG	0	0	221	132	66	26	9	2	13	68	44	0	581
PET	0	0	32	55	79	115	152	144	99	55	30	0	761
NSG	0	0	189	77	-13	-89	-143	-142	-87	14	14	0	
TN	29	29	100	100	88	36	9	2	1	14	29	29	
ΔTN	0	0	71	0	-12	-52	-28	-7	-1	14	14	0	
GET	0	0	32	55	78	78	37	9	14	55	30	0	387
B&A	0	0	117	77	0	0	0	0	0	0	0	0	194

*AOS °C, diğer parametreler mm cinsindedir.

Tablo 14'e göre Muş istasyonunda en fazla kar örtüsü Şubat ayında oluşur. Yüzeysel akış en fazla Mart ayında görülür. Mart ve Nisan aylarında toprak nemi maksimuma ulaşır. Muş İli Thornthwaite tipi aylık su bilançosu grafiği Şekil 11'de görülmektedir.



Şekil 11. Muş İli Thornthwaite tipi aylık su bilançosu grafiği

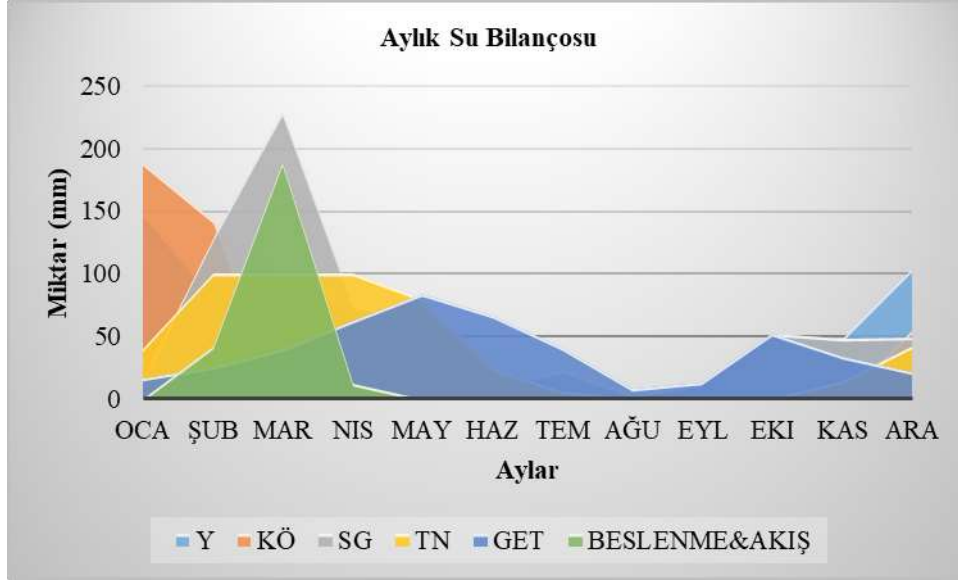
3.12. Tunceli İli Su Bilançosu Sonuçları

Tablo 15'e göre Tunceli istasyonunda 244 mm yüzeysel akış meydana gelmiştir. PET değeri yağış değerinden daha fazladır. En fazla su girdisi Mart ayında görülür. En fazla su açığı Ağustos ayında meydana gelir. Tunceli İli Thornthwaite tipi aylık su bilançosu grafiği Şekil 12'de görülmektedir.

Tablo 15. Tunceli İli Thornthwaite tipi su bilançosu tablosu

Parametre	AYLAR												Yıl
	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	
AY	149	82	87	75	65	11	22	3	13	52	48	103	709
AOS	0.2	2.4	7.4	12.8	16.8	22.9	27.5	27.8	22.3	14.7	7.4	1.7	
EF	0.04	0.40	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.28	
YODY	6	33	87	75	65	11	22	3	13	52	48	28	442
KODY	143	49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	74	266
KÖ	189	142	0	0	0	0	0	0	0	0	0	54	
KE	8	96	142	0	0	0	0	0	0	0	0	21	266
SG	14	128	229	75	65	11	22	3	13	52	48	49	709
PET	20	26	40	62	87	128	163	156	104	59	33	21	901
NSG	-6	103	189	12	-22	-117	-141	-152	-91	-7	14	27	
TN	40	100	100	100	80	25	6	1	1	0	15	42	
ΔTN	-2	60	0	0	-20	-55	-19	-5	-1	0	14	27	
GET	17	26	40	62	84	67	41	8	13	52	33	21	465
B&A	0	42	189	12	0	0	0	0	0	0	0	0	244

*AOS °C, diğer parametreler mm cinsindedir.



Şekil 12. Tunceli İli Thornthwaite tipi aylık su bilançosu grafiği

3.13. Van İli Su Bilançosu Sonuçları

Tablo 16'ya göre Van istasyonunda sadece Nisan ayında toprak nemi maksimum kapasitesine ulaşmıştır. PET değeri yıllık yağış değerinden daha fazladır. En fazla su açığı Temmuz ayında meydana gelir. 363 mm yıllık yağışın 103 mm'si kar olarak düşer. Toprak nemindeki azalış en çok Haziran ayında oluşur.

Tablo 16. Van İli Thornthwaite tipi su bilançosu tablosu

Parametre	AYLAR												Yıl
	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	
AY	38	20	38	54	52	18	3	4	15	61	28	30	363
AOS	-1.2	-0.2	3.9	9.3	13.8	19.2	23.3	23.5	18.9	11.9	5.2	0.6	
EF	0.00	0.00	0.65	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.86	0.11	
YODY	0	0	25	54	52	18	3	4	15	61	24	3	260
KODY	38	20	14	0	0	0	0	0	0	0	4	27	103
KÖ	63	83	34	0	0	0	0	0	0	0	1	25	
KE	0	0	63	34	0	0	0	0	0	0	3	3	103
SG	0	0	87	88	52	18	3	4	15	61	28	6	363
PET	0	0	32	50	72	104	129	122	85	50	29	20	693
NSG	0	0	56	38	-20	-86	-126	-117	-71	11	-2	-14	
TN	11	11	67	100	82	35	10	3	2	13	13	11	
ΔTN	0	0	56	33	-18	-47	-25	-7	-2	11	0	-2	
GET	0	0	32	50	70	65	28	11	16	50	28	8	358
B&A	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	5

*AOS °C, diğer parametreler mm cinsindedir.

4. Sonuç ve Öneriler

Su bulunabilirliği, 21. yüzyılda önemli bir husus haline gelmektedir. Su bilançoları, su kullanıcılarının ve yöneticilerinin hidrolojik çevrimi ölçmek için kullandıkları araçlardır. Bir su bilançosu, su hareketi oranlarının ve atmosferin, arazi yüzeyinin ve yeraltı yüzeyinin tamamının veya bir kısmındaki su

deposundaki değişimin bir muhasebesidir. Kavram olarak basit olmasına rağmen, su bilançolarının doğru bir şekilde belirlenmesi zor olabilir. Bu çalışmada da Doğu Anadolu Bölgesi'nde Thornthwaite tipi aylık su bilançosu hazırlanmıştır. Bu bölge hidrolojik çevrimin bütün parametrelerini içermektedir. Özellikle kar parametresi bu bölgede diğer bölgelere göre daha fazla önem kazanmaktadır. Çünkü kar donmuş halde uzun süre toprak üzerinde kaldığından dolayı önemli bir diğer parametre olan yüzeysel akışı etkilemektedir. Çalışma bölgesinde 13 meteoroloji istasyonunda yapılan analiz sonuçlarına göre bölgede özellikle Temmuz ayında PET değerleri maksimuma ulaşmaktadır. Karasal iklimin egemen olduğu bölgede Elazığ, Erzincan, Iğdır ve Malatya'da su kaynaklarını besleyecek yüzeysel akışın olmadığı ortaya çıkmıştır. Karın daha çok yağdığı bölgelerde örneğin Bitlis istasyonunda yüzeysel akış da fazla meydana gelmiştir. Yüzeysel akış su kaynaklarını beslediğinden dolayı bu tip çalışmalar göz önüne alınmalıdır. Halkın ve karar vericilerin, su bilançolarındaki belirsizliklerin ve bu belirsizliklerin insan ve çevre ihtiyaçları için ne kadar su kullanabileceğinin değerlendirilmesindeki göreceli önemini takdir etmesi önemlidir.

Kaynaklar

- [1] Moghaddam E.T., Mohammadkhan S. 2017. An Estimation of Thornthwaite Monthly Water-Balance in Mighan Sub-Basin. *Natural Environment Change, Winter & Spring*, 3 (1): 71-80.
- [2] Dönmez S. 2018. Akşehir Gölü'ndeki Su Çekilmesinin Meteorolojik ve Uydu Verileri ile İncelenmesi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 33 (1): 177-188.
- [3] Lutz A.J. 2009. The Water Balance of the Okanogan River Watershed in the United States, The Okanogan Conservation District 1251 South Second Avenue Okanogan, WA 98840.
- [4] McCabe G.J., Markstrom S.L. 2017. A monthly water-balance model driven by a graphical user interface, U.S.Geological Survey Open-File report 6 p.
- [5] Thornthwaite C.W., Mather J.R. 1955. The Water Balance. *Publications in Climatology* 8.
- [6] Vörösmarty C.J., Federer C.A., Schloss A.L. 1998. Evaporation functions compared on US watersheds: possible implications for global-scale water balance and terrestrial ecosystem modeling, *Journal of Hydrology*, 207:147-169.
- [7] Google Earth Pro Version 7.3. 2018. Eastern Anatolia Region, Turkey. NOAA, DigitalGlobe 2018, <https://www.google.com/earth/download/gep/agree.html>. (Erişim tarihi: 20.12.2018).
- [8] Hamon W.R. 1963. Computation of direct runoff amounts from storm rainfall. *International Association of Scientific Hydrology Publication*, 63:52-62.
- [9] Dingman S.L. 2002. *Physical Hydrology*. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.