



# HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK DERGİSİ

*HARRAN UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING*

e-ISSN: 2528-8733 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/humder>

---

## **Bahçelik Barajı ve Ünitelerinin WEAP (Water Evaluation and Planning System) Programı İle Modellenmesi ve İşletme Çalışması**

*Modeling and Operation Practice of Bahçelik Dam and Units with Weap (Water Evaluation and Planning System) Program*

**Yazar(lar) (Author(s)):** Hatice ÇITAKOĞLU<sup>1</sup>, Ömer COŞKUN<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ORCID ID: 0000-0001-7319-6006

<sup>2</sup> ORCID ID: 0000-0002-4222-8754

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Çıtakoğlu H., Coşkun Ö., “Bahçelik Barajı ve Ünitelerinin WEAP (Water Evaluation And Planning System) Programı İle Modellenmesi ve İşletme Çalışması”, *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 5(3): 213-226, (2020).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.gov.tr/humder/archive>



## Bahçelik Barajı Ve Ünitelerinin Weap (Water Evaluation and Planning System) Programı İle Modellenmesi Ve İşletme Çalışması

Hatice ÇITAKOĞLU<sup>1,\*</sup>, Ömer COŞKUN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 38220, Melikgazi/KAYSERİ

<sup>2</sup>Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, 12.Bölge Müdürlüğü, Kocasinan/KAYSERİ

### Öz

Bu çalışma, Türkiye'deki Seyhan Havzası'nın alt havzası olan Zamanti Irmağı Alt Havzasında bulunan DSİ sorumluluğundaki Kayseri Pınarbaşı Bahçelik Barajı ve ünitelerinin Dünya'da da kabul gören bir modelleme programı olan WEAP programı kullanılarak benzetim modelinin oluşturulmasıyla ilgilidir. Bu modelde; baraj rezervuarı ile birlikte 6 adet sulama ünitesi, HES ünitesi ve Sarımsaklı Barajını ikame etme amaçlı çevirme ünitesi bulunmaktadır. Mevcut durumda (2015 yılı itibari ile) işletmede bulunan ünitelerle toplam brüt 3415 ha alan sulanmakta ve yıllık 27,00 GWh enerji üretilmektedir. Barajın üniteleri tamamlandıktan sonra tam gelişme durumuna ulaştığında ise brüt 49033 ha alan sulanacak, yine yıllık toplam 27,00 GWh enerji üretilen ve 30,97 hm<sup>3</sup> su Sarımsaklı Barajına iletilecektir. Barajın modellenmesindeki amaç hem projeyi bir bütün olarak ele alabilmek hem de rezervuar ile ünitelerin arz-talep dengesini tam gelişme durumunda WEAP programının oluşturduğu benzetimler üzerinden değerlendirebilmektir. Ayrıca barajın bu modeli üzerinden daha sonra yapılacak olan farklı amaçlı (taşkın, içme suyu vb.) çalışmalara da altyapı oluşturulacaktır. Güncellenen su bütçesine göre model üzerinden işletme benzetimleri yapılmış ve ünitelerin tarımsal sulama ile enerji üretimlerinin birbirleri üzerine etkileri incelenmiştir. WEAP programı ile oluşturulan baraja ait bu benzetim modelinde ünitelere çeşitli öncelikler ve kısıtlar verilerek kabul edilen işletme kuralları için analizler yapılmıştır. Tam gelişme durumunda yapılan işletme çalışmaları sonucu sulama ünitelerinin ihtiyaçlarının karşılanması birinci öncelik olarak kabul edildiğinde enerji üretimi 16,60 GWh/yıl'a düşmekte olup sistemde 10,60 hm<sup>3</sup> su açığı oluşmaktadır. Barajın tam dolu olması birinci öncelik kabul edilerek yapılan ve enerji üretiminin sulamalardan daha öncelikli olduğu işletme çalışmasında ise enerji üretimi 26,40 GWh/yıl ve sistemdeki su açığı ise 6,60 hm<sup>3</sup> olmaktadır. Gerçek koşullarda sistemde su açığının olması istenilen bir durum değildir. Sulama ile enerji üretimi arasındaki ilişki ise programın varsaydığı talep öncelik sıralamasına göre değişmektedir. DSİ'nin belirlediği gerçek koşullardaki değerler ile benzetim sonucunda çıkan değerler kıyaslandığında WEAP programı ile yapılan işletme çalışmasının yetersiz kaldığı sonucuna ulaşılmıştır.

### Makale Bilgisi

Başvuru: 26/08/2020

Yayın: 25/12/2020

### Anahtar Kelimeler

Bahçelik Barajı ve HES  
Modelleme,  
WEAP  
İşletme Çalışması

### Keywords

Bahçelik Dam and HEPP  
Modelling  
WEAP  
Operating Practice

## Modeling and Operation Practice of Bahçelik Dam and Units with WEAP (Water Evaluation and Planning System) Program

### Abstract

This study is concerned to make a simulation models of Kayseri Pınarbaşı Bahçelik Dam and units, responsibility of DSİ at Zamanti River Sub-basin, which a sub-basin of the Seyhan River Basin in Turkey by using modelling program WEAP which is accepted in the world. In this model; there are 6 irrigation units, HEPP unit and diversion unit to replace the Sarımsaklı Dam. Currently, as of 2015, a total gross area of 3415 ha is irrigated with the units in operation and 27,00GWh of energy is generated annually. Once the units of the dam have been completed and reached full development status, a gross area of 49033 ha will be irrigated, a total of 27,00 GWh of energy will be generated annually and 30,97 hm<sup>3</sup> of water will be derived to Sarımsaklı Dam. The aim of the dam modeling is to be able to take the project as a whole and to evaluate the supply-demand balance of the reservoirs and units through the simulations generated by the WEAP program. In addition, substructure will be established for different purposes (flood, drinking water, etc.) to be carried out later on this model of the dam. Operational simulations were made on the model based on the updated water budget and the effects of agricultural irrigation and energy production of the units on each other were examined. In this simulation

\*Hatice ÇITAKOĞLU, e-mail: hcitakoglu@erciyes.edu.tr

model of the dam created with the WEAP program, various priorities and restrictions were given to the units and analyzes were made for the accepted operating rules. When meeting the needs of irrigation units is considered as the first priority as a result of the operation works in case of full development, energy production decreases to 16,60 GWh/year and a water deficit of 10,60 hm<sup>3</sup> occurs in the system. On the other hand, in the operation study, which is considered as the first priority for the dam to be full and energy production is more priority than irrigation, the energy production is 26,40 GWh/year and the water deficit in the system is 6,60 hm<sup>3</sup>. In real conditions, it is not desirable to have a water deficit in the system. The relationship between irrigation and energy production varies according to the demand priority order assumed by the program. When comparing the values in real conditions determined by DSI and the values obtained as a result of the simulation, it was concluded that the operation study with the WEAP program was insufficient.

## 1. GİRİŞ

Su kaynaklarının kısıtlı oluşu su kaynaklarını kullanırken azami faydayı gözetmeyi zorunlu hale getirmiştir. Mevcut kaynaklarla çeşitli ihtiyaçların asgari derecede karşılanması ve birden fazla ihtiyacın bir arada en uygun faydalarının aranarak kullanılması gerekmektedir. İhtiyaçların bir arada ele alınmaması, yapılacak su yapılarını ve bu yapıların işletilmesini olumsuz yönde etkileyecek, bu şekilde sınırlı su kaynaklarımızı istediğimiz verimle kullanamamamıza sebebiyet verecektir. Bundan dolayı sınırlı su kaynaklarımızı en verimli şekilde kullanabilmek için doğru ve güvenilir işletim çalışmaları benimsenmelidir [1].

Havza veya baraj işletme çalışmaları, bir veya birden fazla amaca (sulama, enerji, içme suyu, taşkın vb.) yönelik durumlarda karar değişkenleri ile kısıt değişkenlerini farklı yöntemler kullanarak en iyiye ve asgari kayıplarla azami faydaları elde etmemizi sağlar. Ayrıca yapılacak olan tesislerin boyutlandırılmasında da işletme çalışmaları oldukça önem arz etmektedir. Ana plan, eylem planları veya planlama aşamalarında, ülkemiz su kaynaklarını en etkin şekilde kullanabilmek ve tarım, enerji gibi alanlarda dışa bağımlılığı azaltabilmek için havza veya barajlarda uygun bir modelle birlikte işletme çalışmalarını ele almak oldukça önemli ve gereklidir.

Havza veya barajların işletme çalışmalarında modelleme yöntemleri kullanılarak ülkemizde ve dünyada birçok çalışma yapılmıştır. Çalışmaların ilk dönemlerinde tek amaçlı ve tek barajlı sistemlere uygulanan yöntemler, zamanla birden fazla amaca hizmet eden ve çok barajlı sistemler için geliştirilmiştir.

Raskin et al. 1992 [2], Aral Gölü Bölgesindeki su talepleri ve temininin modellemesini WEAP<sup>1</sup> programını kullanarak yapmışlardır. Bu çalışmaya WEAP programının tasarlayıcısı olan Stockholm Çevre Enstitüsü<sup>2</sup> hem teknik hem de mali yönden destek vermiştir. Güvel, 1997 [3], Türkiye’de Ceyhan ve Seyhan Havzalarına taşkın kontrolü ve enerji üretimini en iyileme amaçlı olarak HEC-5 benzetim programını uygulamıştır. Bu en iyileme modellemesinin kullanılmasındaki amaç mevcut ve planlanmış barajlar için uygun işletme politikalarının belirlenmesidir. Özdemir, 2001 [4], ardışık barajların birden fazla amaç için verimli işletilmesinin ancak model programlar yardımı ile mümkün olabileceğini savunmuştur. Çalışmasında öncelikle 1980 yılı Seyhan taşkını HEC-5 programı ile modellemiş ve ayarlamasını sağlamış, daha sonra Seyhan Havzası’ndaki mevcut Seyhan Barajı, Hidroelektrik Santrali ve işletmeye 1997 yılında alınan Çatalan Barajı ve Hidroelektrik Santralinin taşkın kontrolü ve elektrik enerjisi üretimlerindeki etkileşimlerini incelemiştir. Hanbali, 2005 [5], Irak’taki Fırat ve Dicle havzalarında nehir sistemlerinin rezervuar işletmesi ve yükseklik değerleri için HEC-ResSim2.0 kullanarak bir modelleme çalışması yapmıştır. İlk olarak nehirlerin çoklu rezervuar sisteminin HEC-ResSim2.0 programına uyarlamasını yapmıştır. Daha sonra tarım için ayrılan sulama suyu, taşkın kontrolü ve hidroelektrik enerji amaçları için bir model oluşturmuştur. Arranz, 2006 [6], Güney Afrika’daki Olifants Havzasının gelecekteki su talepleri ve kaynakları açısından modellenmesi için WEAP programını kullanmış olup çeşitli işletme ve analiz senaryolarını araştırmıştır. Hagan, 2007 [7], Gana’nın doğusunda bulunan küçük rezervuarların modellemesini WEAP programını kullanarak yapmıştır. Volta havzasında akarsu ve nehirlerin üzerinde bulunan yaklaşık 160 adet küçük rezervuar bulunmaktadır. Bu rezervuarlar için WEAP programında üç farklı senaryo tanımlamış ve bu senaryoların

<sup>1</sup> Water Evaluation and Planning System

<sup>2</sup> Stockholm Environment Institute: SEI

rezervuarlar üzerine etkilerini incelemiştir. Yılmaz ve Harmancıoğlu, 2010 [8], Gediz Nehir Havzası'ndaki su kaynakları yönetimi için çok kriterli karar oluşturma çalışmasında, WEAP modelleme programını alternatif işletme çalışmaları oluşturabilmek için kullanmışlardır. Akandi, 2013 [9], WEAP programını kullanarak Gana'da bulunan Siyah Volta Havzası'ndaki küçük baraj rezervuarlarının ve yeraltı suyu tesislerinin havza hidrolojisi ve su tahsisleri üzerine etkilerini araştırmıştır. Yılmaz, 2015 [10], Akarçay Havzası Entegre Su Kaynakları Yönetiminin belirlenmesinde WEAP yaklaşımını kullanmıştır. Akarçay Havzasının normal, iyimser ve kötümser senaryolardaki su bütçesini ortaya çıkartmıştır. Büyükaslan, 2019 [11], WEAP programını kullanarak Aksaray İlinin su kaynaklarını teşkil eden Mamasın Barajı, Melendiz ve Karasu Çayı'nın hidrolojik modeli ve verilerini WEAP programına entegre ederek gelecek yıllarda olması muhtemel değişiklikleri hesaba katarak farklı senaryolar yardımıyla havzanın su bilançosunu 2075 yılına kadar analiz ederek tahmin etmiştir. Sharef, 2019 [12], Irak'ın Erbil ilinin kuzeyindeki Khalifan nehir havzasında bütüncül su kaynakları yönetimi uygulaması üzerine çalışmıştır. Bu çalışmanın temel amacı, nehir havzası için 15 yıllık değerlendirme ve analiz planlaması oluşturmaktır. Su değerlendirme ve planlama sistemi olarak WEAP modeli, nehir havza planlama sistemini ve planın en uygun işletme politikasını belirlemek için havzaya uygulanmıştır. Çalışmada beş senaryo karşılaştırılmıştır (referans, yüksek nüfus artışı, akış gereksinimi, baraj katkılı ve su tasarruflu). Karşılaştırmalar nisan-eylül aylarında su talebinin tarım sezonu nedeniyle yüksek olduğunu göstermiştir. Gerçekleşen azami su talebi Ağustos ayında  $3,00 \text{ hm}^3$  olup önerilen baraj ise sadece  $2,00 \text{ hm}^3$  tedarik etmiştir. Ayrıca yurtiçi su talebi en fazla  $0,47 \text{ hm}^3$ , en az  $0,37 \text{ hm}^3$  olup neredeyse her ay aynı su talebi oluşmaktadır. Bu sonuçlara göre, hükümetin Gali Ble Barajını  $2,00 \text{ hm}^3$  rezervuar kapasitesiyle bir an önce tamamlaması gerektiği ortaya konmuştur. Su tasarrufu senaryosundaki su ihtiyacı ise 2020 yılında  $1,00 \text{ hm}^3$  olup 2032 yılında  $3,26 \text{ hm}^3$  seviyesine kadar çıkmaktadır. Arslan, 2019 [13], Burdur Gölü Havzası bütüncül su kaynaklarının yönetimi için WEAP programından yararlanmıştır. Burdur Gölü Havzasında yer alan su kaynakları ile talep bölgeleri (içme suyu, sulama vb.) programa tanımlanmış ve WEAP modeli oluşturulmuştur. Akabinde havzadaki su kullanımları ile akım gözlem istasyonlarından elde edilen yağış, akış, buharlaşma vb. gibi hidrolojik veriler kullanılarak programda mevcut durumun su bilançosu hesaplanmıştır. Oluşturulan model ile geleceğe yönelik (2017-2050) su ihtiyacının belirlenmesi için iyimser ve kötümser senaryolar türetilmiştir. Yapılan hesaplamalara göre yüzeysel ve yeraltı suları dâhil Burdur Gölü havzasına giren su miktarı mevcut durumda  $275,70 \text{ hm}^3$ , karşılanamayan su talebi  $21,00 \text{ hm}^3$ 'tür. İyimser senaryoda 2050 yılında havzaya giren su miktarı  $353,50 \text{ hm}^3$ , karşılanamayan su talebi  $8,90 \text{ hm}^3$  iken kötümser senaryoda havzaya giren su miktarı  $189,40 \text{ hm}^3$ , karşılanamayan su talebi ise  $85,00 \text{ hm}^3$  olarak bulunmuştur. Chang et al., 2020 [14], Çin'de Güney-Kuzey Su Yönlendirme Projesi için Güney Çin'deki Yangtze Nehri'nden Sarı Nehir'e yılda ortalama 45 milyar metreküp yüzey suyunun aktarılması ve akabinde Kuzey Çin'deki Hai Nehri Havzasının bu arz sonucunda farklı senaryolar altında kuraklıkla nasıl başa çıkabileceğini araştırmışlardır. Farklı kuraklık senaryoları altında 2020 yılı su tüketimlerini de dikkate alarak Pekin'deki mevcut su kaynaklarını benzetim modeline entegre edebilmek için WEAP programı kullanılmıştır. Su yönlendirme projesi olmadan tek yıllık kuraklık durumunda Pekin'deki su kıtlığı oranı % 16,7 iken su yönlendirme projesi ile bu oran % 7,3'e düşmektedir. Yine su yönlendirme projesi olmadan çok yıllık bir kuraklık durumunda Pekin'deki su kıtlığı oranı % 25,3 iken su yönlendirme projesi ile bu oran % 7,4'e kadar düşmektedir. Bu çalışmada WEAP programı suyun yönlendirilmesi, dağıtımı ve tahsisleri açısından iyi bir performans sergilemiştir. Yukarıda kısaca özetlenen çalışmalarda WEAP ve diğer programlar kullanılarak ağırlıklı olarak su tahsisleri ve su dağıtımları üzerinde durulmuştur. Bu çalışmalarda bizim çalışmamızda olduğu gibi detaylı bir baraj işletme çalışması yapılmamıştır. Özellikle WEAP programının kullanıldığı çalışmalar sayesinde WEAP programının alt yapısı, ara yüzleri, kullanım özellikleri ve kullanım alanları iyi derecede öğrenilmiş ve uygulaması yapılmıştır.

Bu çalışmada; Seyhan Havzası'nın alt havzası olan Zamantı Irmağı Alt Havzası'ndaki DSİ sorumluluğundaki Kayseri Pınarbaşı Bahçelik Barajı ve ünitelerinin WEAP programı ile benzetim modeli oluşturulmuştur. Bu modellerin oluşturulmasındaki amaç Bahçelik Barajı ve ünitelerini aynı projeksiyonda bir bütün olarak ele almak, rezervuar ile ünitelerin arz-talep dengesini işletme koşullarına göre değerlendirmek ve bundan sonraki yapılacak çalışmalara altyapı oluşturmaktır. Bahçelik Barajının tam gelişme durumunda 6 adet sulama ünitesi, bir adet HES ünitesi ve Sarımsaklı Barajına iletim ünitesi bulunmaktadır. Bahçelik Barajı ve ünitelerinin WEAP modeli oluşturulmuş olup bu model üzerinden elde edilen benzetim sonuçlarına göre işletme verimlilikleri incelenerek ünitelerin tarımsal sulama ve enerji

üretimleri için işletme çalışması yapılmıştır. Oluşturulan WEAP modeli fiziksel ve mekânsal özelliklerinin yanı sıra veri girişlerine ve ayarlamalara da hazır bir şekilde olup çok yönlü ve farklı analizler yapılabilecek durumdadır.

Çalışmamızda ilk olarak baraj ve ünitelerinin WEAP modeli ve işletme çalışması için gerekli olan senaryolar belirlenmiştir. Bu senaryoların ilki güncel durum senaryosu olarak düşünülmüştür. Ancak Bahçelik Barajı'nın güncel durumda sadece iki adet sulama ve bir adet HES ünitesi işletmede olduğundan güncel durumda hem modelleme hem de işletme çalışması yapmak çok fazla bir anlam ifade etmeyecektir. Bu nedenle baraj ve ünitelerinin tamamının işletmeye alındığı tam gelişme durumu hem modelleme hem de işletme çalışması için ele alınacaktır. Güncel durum, WEAP programında 2014 yılı için referans senaryosu olarak kabul edilmiştir. Tam gelişme durumu için ise 2025 yılı seçilmiştir. 2015–2025 yılları arası ise gelişme dönemidir. Bahçelik Barajı ve ünitelerinin işletme çalışmasında sadece tam gelişme durumu senaryosu dikkate alınacaktır.

Senaryolar belirlendikten sonra Bahçelik Barajının ve ünitelerinin WEAP modeli oluşturulmuştur. Bu model WEAP programında bulunan rezervuar düğümleri, HES düğümleri, ayırım noktaları, talep noktaları gibi modelleme araçları kullanılarak oluşturulmuştur. Daha sonra ise Bahçelik Barajı işletme çalışmalarında kullanılacak olan akım verileri ile su bütçesi güncellenmiş ve modelin ayarlaması yapılmıştır. Son olarak da WEAP modeli üzerinden ünitelere öncelikler verilerek benzetimlere göre elde edilen barajın işletme çalışması sonuçları değerlendirilmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOD

### 2.1. MATERYAL

#### 2.1.1. Bahçelik Barajı ve HES

Zamantı Irmağı üzerinde bulunan Bahçelik Barajı tamamen sulama amaçlı bir baraj olarak inşa edilmiştir. Ancak, daha sonra sulama mevsimi dışında dolusavaktan atılacak sular ile sulamaya verilecek sulardan enerji üretmek amacıyla bir HES, özel teşebbüs tarafından sulama çıkışına inşa edilmiştir. Şekil 1'de Bahçelik Barajı ve HES genel görünümü verilmiştir.



*Şekil 1: Bahçelik Barajı ve HES Genel Görünümü [15]*

Bahçelik Barajı 2006 yılında işletmeye alınmış olup baraj ile 49033 hektar tarım arazisi sulanacaktır. Bahçelik Barajı sulamaları 6 üniteden oluşmaktadır. İşletmeye açılan 4,17 MW kurulu gücündeki HES ile toplam 27,00 GWh/yıl enerji üretilmektedir. Ayrıca Sarımsaklı Barajı'nın ana su kaynağı olan Bünyan Kaynağı içme suyu amaçlı olarak kullanılacağından, 2025 yılından itibaren Sarımsaklı Barajı'na Bahçelik

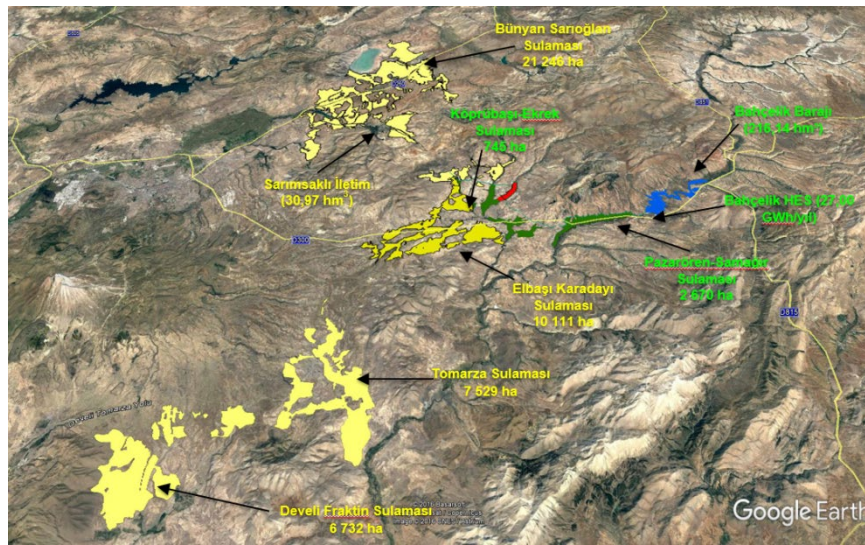


Barajı'ndan yılda 30,97 hm<sup>3</sup> suyun iletimi sağlanacaktır [16]. Barajın tüm üniteleri Tablo 1'de ve Bahçelik Projesi genel vaziyet haritası Şekil 2'de verilmiştir.

**Tablo 1: Bahçelik Barajı Üniteleri [16]**

Ünite Adı	Faydası	Ünite Adı	Faydası
Pazarören–Samağır Sulaması	2670 ha	Tomarza Sulaması	7529 ha
Köprübaşı–Ekrek Sulaması	745 ha	Develi–Fraktin Sulaması	6732 ha
Bünyan–Sarıoğlan Sulaması	21246 ha	Bahçelik HES	27,00 GWh/yıl
Bünyan Elbaşı–Karadayı Sulaması	10111 ha	Sarımsaklı İletim	30,97 hm <sup>3</sup>

*Kaynak: Zamantı Bahçelik Projesi Planlama Revizyon Raporu (Birlik-Etak-Hidroizayn, 2003)*



**Şekil 2: Bahçelik Projesi Genel Vaziyet Haritası [15]**

### 2.1.2. Zamantı Irmağı

Zamantı Irmağı, Sivas İlinin güneyinde yer alan 2079 m yüksekliğindeki Karaca Tepe'nin güney yamaçlarındaki pınarlardan kaynaklanır ve Özdere adı altında Kazancık köyünden güneye doğru akar. Uzunpınar–Örenşehir hattından gelen Seyhan Deresi, Kazancık mevkiinde Özdere ile birleştikten sonra Zamantı Çayı adını alır ve güneye doğru akmaya devam eder. Zamantı Irmağı'nın 2756km<sup>2</sup> yağış alanına sahip E18A023no'lu Zamantı Suyu–Emeğil AGİ<sup>3</sup>'de ölçülmüş yıllık ortalama akımı 325 hm<sup>3</sup>/yıl mertebesindedir.

### 2.1.3. Akım Gözlem İstasyonları

Çalışmamızda E18A012 ve E18A023no'lu AGİ'leri kullanılmıştır. E18A012 ve E18A023no'lu AGİ'ler Bahçelik Barajı ve akış yukarısını temsil etmektedir. E18A012no'lu AGİ'de 1955–1973 yılları arası gözlem yapılmış ve kapatılmıştır. Daha sonra ise E18A012no'lu AGİ'nin akış aşağısında kurulan E18A023no'lu AGİ'de gözlemlere 1999 yılına kadar devam edilmiştir. Tablo 2'de AGİ'lerin temel özellikleri verilmiştir.

<sup>3</sup> Akım gözlem istasyonları

**Tablo 2:** Akım Gözlem İstasyonları (AGİ) [16]

İstasyon No	İstasyon Adı	Yağış Alanı (km <sup>2</sup> )	Kot (m)	Açılış Yılı	Kapanış Yılı	Koordinatlar		Yıllık Ortalama Akım (hm <sup>3</sup> )
						Kuzey	Doğu	
E18A012	Zamantı Irmağı-Pınarbaşı AGİ	2623,20	1490	1954	1974	4292091	793580	303,00
E18A023	Zamantı Suyu-Emeğil AGİ	2756,00	1453	1973	1999	4285110	265000	359,00

## 2.2. METOT

### 2.2.1. Modelleme

Modelleme, su kaynakları işletme sistemlerinde kullanılan en iyileme yöntemlerinden biri olup uygulamalarda da en çok tercih edilen yöntemlerdendir. Benzetim modelleri olarak da adlandırılabilir olan modelleme, sistemin bütün bileşenlerinin bağlantılarını mantıklı bir şekilde tanımlayan matematik ve cebirsel fonksiyonları kullanarak o sistemin davranışının bilgisayarda temsil edilmesi için uygulanır. Modelleme yönteminde, sistemin parametrelerinde yapılan değişikliklerle deneysel olarak en iyi çözüm aranmaktadır. Burada, en iyi çözümün elde edileceğinin garantisi yoktur [17].

Baraj sistemlerinde farklı amaç ve kısıtlar kullanıldığından genel bir algoritma oluşturulamamaktadır. Bu nedenle her baraj sistemi için kendi amaç ve kısıtları doğrultusunda algoritma geliştirilmelidir. Modelleme yönteminin diğer en iyileme yöntemlerine göre zor tarafı en uygun çözümün otomatik olarak elde edilmesini sağlayan bir algoritmanın bulunmasıdır. Çeşitli girdi grupları için bilgisayardan elde edilen sonuçların net faydası en iyi olanı kullanılmaktadır. Benzetimde yapılanların büyüklüğü ve üretim hedefleri bilgisayar programının girdileri arasındadır. Bunlara istenen değerler kolaylıkla atanabilir. Ancak sistemin işletme kuralını yani suyun haznelere hangi kurala göre alınacağını ve hazne hacminin boyutlandırılmasını değiştirmek çok daha zordur [18].

Wurbs, 2005'a göre çeşitli su kaynakları çalışmalarında kullanılmış ve çok popüler olan modelleme yazılımları şunlardır [19]:

1. River Ware
2. Modsim
3. Mike Basin
4. HEC-3 ve HEC-5
5. HEC-Ressim

Çalışmamızda Bahçelik Barajı ile ünitelerinin WEAP programı kullanılarak kapsamlı bir modeli oluşturulmuştur. Yukarıda bahsedilen yazılımlardan farklı olarak WEAP programının kullanılmasının başlıca iki sebebi bulunmaktadır. WEAP programı ülkemizde çok kullanılan bir program değildir. Programın özellikleri ve kullanım alanları açısından araştırmacılara bir farkındalık oluşturmak istenmiştir. Ayrıca diğer yazılımlar su kaynakları ile ilgili çalışmalarda çok fazla tercih edilmiş olup arz-talep dengesini sağlayabilmek açısından bu yazılımların çalışmamızda herhangi bir özgünlük sağlayamayacağı düşünülmüştür.

### 2.2.2. İşletme Çalışması

Baraj yerinde arz ve talepler zamanla değişebilmektedir. Arzın<sup>4</sup>, talepten<sup>5</sup> büyük olduğu dönem sulak dönem, küçük olduğu dönem ise kurak dönem olarak adlandırılır. Su kullanma maksatlı barajlarda en

<sup>4</sup> D: Gelen su debisi

<sup>5</sup> S: ihtiyaç su debisi

kurak dönem, taşkın kontrollü barajlarda ise en sulak dönem esas alınarak hazne hacmi belirlenir. Kritik dönemde arz ve talep arasındaki farkın zamanla bütünleşmesi hazne hacmini verecektir.

Bu ise matematiksel olarak;

$$V = \int (D - S) dt \quad (1)$$

bağıntısı ile gösterilebilir.

Baraj haznelerinin hacimleri belirlenirken uygulamalarda en çok karşılaşılan yöntemler şunlardır:

1. Debi Toplam Eğrisi (Ripple Diyagramı) Yöntemi
2. Ardışık Tepeler Yöntemi
3. İşletme Çalışması
4. Diğer Yöntemler

Bu yöntemlerden sadece çalışmamızda kullandığımız işletme çalışması ve diğer yöntemler içerisinde bulunan benzetim modelleri üzerinde durulacaktır.

Baraj haznelerinde belirlenen hacmin amacı doğrultusunda uygun olup olmadığı işletme çalışması ile kontrol edilir. İşletme çalışması genellikle işletme planına dayalı bazı kabullerle yürütülür. Eğer kritik dönemde hazne, buharlaşma ve sızma kayıpları çıktıktan sonra bütün su taleplerini karşılıyorsa ve dönem sonunda haznede birikmiş fazla su kalmıyorsa belirlenmiş olan hazne hacmi uygundur. İşletme çalışmasında;

$$dV/dt = I - O \quad (2)$$

şeklindeki süreklilik denklemini esas alır.

Burada,

$dV$ ,  $dt$  zamanı içerisindeki hacimdeki değişiktir.  $I$  ve  $O$  ise o zaman içerisindeki hazneye giren ve çıkan debileri ifade eder [20].

Depolama tesisinin planlama ve işletmeye açıldıktan sonraki işletme esasları farklılık gösterir. Planlama aşamasındaki işletme çalışmalarında, mevcut akım değerleri sürekli aynı periyotta tekrarlanacak şekilde kullanılır. Buna karşılık depolama tesisi inşa edilip işletmeye açıldıktan sonra akım değerleri bakımından bir belirsizlik meydana gelir. Şöyle ki yalnızca içinde bulunan aydaki akım değerleri mevcut olup ileriki aylarda gelecek akım değerleri bilinmemektedir. Bu durumda akım tahmin metotlarıyla planlama aşamasındaki belirlenen işletme eğrileri birlikte değerlendirilmelidir.

İşletme çalışmalarında hesaplama yapılırken aylık süreklilik denklemini kullanılır. Herhangi bir zaman aralığında barajda bulunan su hacminde oluşan değişiklik, baraja giren ve barajdan çekilen su miktarları arasındaki farka eşittir. Bu fark;

$$AHH = AH + GA - B - SSİ - İKSH \quad (3)$$

Bu arada  $AHH$ , Aysonu Hazne Hacmini;  $AH$ , Aybaşı haznesini;  $GA$ , gelen akımı;  $B$ , buharlaşmayı;  $SSİ$ , Sulama suyu ihtiyacını ve  $İKSH$ , İçme ve kullanma suyu hacmini ifade etmektedir.

Bu denklem barajın hidrolojik dengesinin bir ifadesidir. Ancak giren ve çekilen sular değişken olduğundan depolama ihtiyacını cebirsel olarak hesaplamak mümkün değildir. Bundan dolayı işletme çalışması bir tatonman hesabı gerektirmektedir. Çalışmamızda, Bahçelik Barajının WEAP modeli üzerinden işletme çalışması ağırlıklı olarak bu kabuller üzerinden yapılmıştır.

Çalışmamızda sadece Bahçelik Barajı ile ünitelerinin işletme çalışması yapılmıştır. Baraja gelen uzun yıllar aylık ortalama akımları programa tanıtılmış ve talep noktalarının tam gelişme durumundaki işletme koşulları değerlendirilmiştir. İşletme çalışmasında ünitelere çeşitli öncelik sıralamaları verilmiş olup  $DSİ$ 'nin işletme şartlarına uygun olacak şekilde arz-talep dengesi oluşturulmuştur.

### 2.2.3. Weap Programı



“WEAP” Su Değerlendirme ve Planlama Sistemi modelleme yazılımı, 1988 yılında Stockholm Çevre Enstitüsü tarafından mevcut su kaynaklarının arz talep dengesinin sürdürülebilirliğini değerlendirmek ve uzun dönem alternatif işletme senaryoları belirleyebilmek için esnek, bütünlük ve şeffaf bir planlama aracı olarak geliştirilmiştir. WEAP modelleme yazılımı; sektörel talep analizleri, su tasarrufu, su hakları ve tahsis öncelikleri, akarsu akış modeli, rezervuar işletmesi, ekosistem gereksinimleri ve proje fayda-zarar analizleri gibi konuları içeren çok geniş bir yelpazede hem kamu hem de tarım sistemlerine uygulanabilir. Su sistemleri üzerindeki su değerlendirme ve talep yönetimi yeteneği gerçekten iyi seviyededir. Anlaşılabilir arz odaklı benzetim modelleri her zaman yeterli değildir. Bu yüzden WEAP programı, su kaynakları planlamasında önemli bir araç olarak bütün bu konuları birleştirip değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Kapsamlı, basit, kullanımı kolay bir yazılım olan WEAP programı, planlamacıların yerini almaktan çok onlara yardım etmesi için tasarlanmış bir modelleme programıdır. WEAP programı, bütünlük su kaynakları yönetimi için özgün bir yaklaşım sunmaktadır. Ayrıca modelleme çalışmalarında çok kullanılan QUAL2K, MODFLOW, MODPATH, PEST, Excel, GAMS gibi program ve yazılımlarla da bağlantılıdır.

WEAP modelleme programı genel olarak basit bir kullanıma ve görselliğe sahiptir. Programın ana penceresinde çeşitli bölümler ve modelleme araçları yer almaktadır. Modelleme araçlarından olan nehir<sup>6</sup>, ayırım<sup>7</sup>, nehir düğümü<sup>8</sup> katmanları çizimleri “*sürükle ve bırak*” mantığı ile yapılır. WEAP programında yedi tane farklı tipte düğüm noktası vardır. Bunlar; rezervuar düğümleri, HES düğümleri, ayırım noktaları, akış düğüm noktaları, çıkış düğüm noktaları, nehir yankol düğümleri ve geri akış düğümleridir [21].

Modelin analizinin yapılabilmesi için öncelikle yeni bir alan oluşturmak gerekir. Kurulacak olan modelde bir tarafta su kaynakları diğer tarafta da talepler için odak noktaları olmalıdır. WEAP programının en önemli özelliklerinden biri de GIS<sup>9</sup> tabanlı katmanların modele eklenebilmesidir. Vektör katmanları ayrı X-Y konumları kullanarak coğrafi özellikleri görüntüler. Çalışmamızda; ARCGIS yazılımı kullanılarak daha önceden oluşturulan Zamantı Irmağı, dereler, depolama tesisleri, regülatör ve bentler, HES’ler, sulama alanları ile havza ve alt havza sınırlarının shapefile<sup>10</sup> formatları programa projeksiyonlu bir şekilde tanıtılmıştır. Modele bu vektör katmanları eklendikten sonra talep noktaları, bağlantılar ve düğüm noktaları oluşturulmuştur. WEAP programının kalbi, senaryo analizleridir. WEAP modelleme programı; mevcut durumdan pay çıkarılarak geleceğe dönük senaryolar ile su gereksinimleri, maliyetleri ve çevresel etkilerini değerlendirmek için karşılaştırma yapma imkânı sunar. Bahçelik Barajı WEAP modeli tam gelişme durumu için oluşturulmuştur.

Modelleme çalışmasında modelin elemanları yerleştirilip genel ayarlamalar tamamlandıktan sonra, analiz ve sonuçların değerlendirilebilmesi için veri girişlerinin yapılması gerekir. Her bir talep noktası, düğüm noktası, iletim bağlantıları, nehir, rezervuar, yeraltı suyu, atıksu arıtma, taşkın gereksinimleri gibi model bileşenlerinin verileri sağlıklı bir şekilde girilmelidir. Modelden yola çıkılarak yapılacak olan işletme çalışmaları için veri girişi oldukça önemlidir. WEAP programında belirli bir alanda oluşturulan modelin veri girişleri ve senaryo araştırmaları yapıldıktan sonraki aşama, analizlerin ve sonuçların değerlendirilmesidir.

WEAP programı, ülkemizde özellikle bütünlük havza yönetimi konusunda yeni kullanılmaya başlanmıştır. Kaynaklar ile talep noktalarının arz-talep dengelerini düzenleme konusunda program iyi sonuçlar vermektedir. Su dengesi formülüne bağlı olarak kendi içerisinde doğrusal programlama yöntemini kullanan program verilen önceliklere göre işletme çalışması yapmaktadır.

WEAP programının özellikle enerji üretimi için kabul ettiği işletme koşulları, senaryo ve analizleri zayıf kalmaktadır. En temel kuvvet ve enerji formüllerine dayalı olarak basit bir enerji çalışması yapmaktadır. Enerji ünitesi diğer sulama ya da içme suyu üniteleri gibi barajdan ayrı değerlendirilememektedir. Ayrıca enerji üretimi hesabı yapılırken iletim hatlarında ya da türbinlerde oluşacak kayıplar önemli olmasına rağmen programda bunun için detaylı bir seçenek bulunmamaktadır. Debi-süreklilik eğrisi kullanılarak kurulu güç, güvenilir güç ya da cebri boru çapları arasındaki en iyileme seçenekleri yapılamamaktadır.

<sup>6</sup> Rivers

<sup>7</sup> Division

<sup>8</sup> Rivernode

<sup>9</sup> Geographical Information System

<sup>10</sup> shp

Detaylı bir enerji çalışması yapabilmek için ayrıca bir enerji modelleme yazılımı olan ve WEAP üzerinden bağlantı sağlanan LEAP<sup>11</sup> programına ihtiyaç duyulmaktadır. Enerji üretimine yönelik ilerde yapılacak modelleme ve işletme çalışmalarında WEAP programı ile koordineli bir şekilde LEAP programının kullanılmasında yarar vardır.

WEAP programı su kaynakları sistemlerinin modellenmesi için oldukça elverişli bir programdır. WEAP programı YAS, endüstri veya içme suyu dağıtımları, çevresel etki değerlendirmeleri, iklim değişiklikleri, atık su, su kirliliği ve can suyu salınımları gibi çok çeşitli amaçlar için kapsamlı ve bütüncül çalışmalarda kullanılabilir. WEAP programının modelleme mantığı diğer programlara göre daha sade ve anlaşılır yapıdadır. Programın görsel özellikleri de oldukça iyi bir seviyededir. Modelleme araçlarının kullanımı, katmanlar ve harita seçenekleri, senaryo ve analizlerin çeşitliliği, grafik ara yüzlerinin oldukça işlevsel oluşu, başka yazılımlar ve modüllerle bağlantılı olması gibi çeşitli özellikleri de programın önemli artılarıdır. Programın akademisyen, öğrenci ve kamu kurumlarındaki araştırmacılar için ücretsiz olması nedeniyle erişimi ve kullanımı da kolaydır.

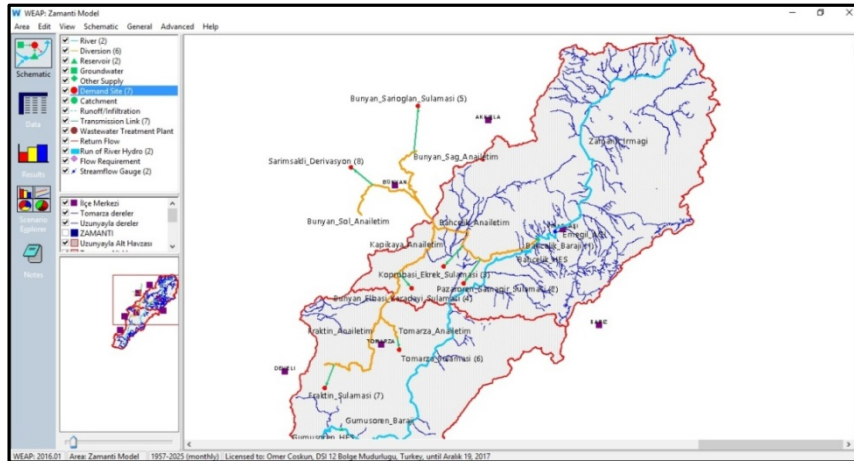
### 2.3. Model Performansının Değerlendirilmesi

Modelleme ve işletme çalışmaları için gerekli olan senaryolar belirlenip baraja ait WEAP modeli oluşturulduktan sonra akım verileri ile su bütçesi de güncellenmiştir. Zamantı Irmağı, baraj rezervuarı ile talep noktalarının fiziksel karakteristiklerini ve gerçek işletme şartlarını temsil eden anahtar parametrelerin programa tanıtılabilmesi için WEAP modelinin ayarlanması gerekir. Programın anahtar parametreleri; rezervuar kapasitesi, aktif ve ölü hacimler, su ihtiyaçları, barajdan aylık çekilecek sular, üretilen enerji miktarları, baraja gelen aylık doğal akımlar ve buharlaşma değerleridir. Mevcut durumda planlama aşamasında ortaya konulan sonuçlar ile modelin benzetim sonuçları kıyaslanarak model performansı değerlendirilmiştir. Mevcut durumda su açığı oluşmamasına rağmen benzetim sonuçlarına göre bazı talep önceliklerinin durumuna göre modelde su açığı oluşmuştur.

## 3. UYGULAMA VE TARTIŞMA

### 3.1. Weap Modeli

Bahçelik Barajı ve ünitelerinin WEAP benzetim modeli oluşturularak bu model üzerinden işletme çalışması yapılmıştır. Şekil 3'te tam gelişme durumu WEAP modeli verilmiştir.



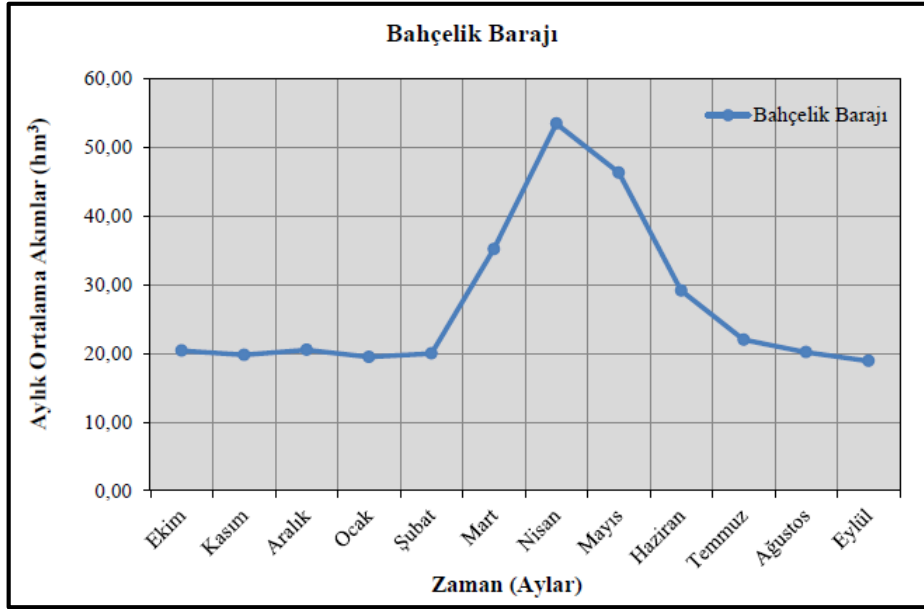
Şekil 3: Tam Gelişme Durumu WEAP Modeli

Bahçelik Barajı, 2006 yılında tamamlanarak işletmeye alınmıştır. Güncel durumda 2015 yılı itibari ile Pazarören–Samağır Sulaması, Köprübaşı–Ekrek Sulaması ve Bahçelik HES işletmede olan tesislerdir. Bu üniteler için barajdan yıllık 10,78 hm<sup>3</sup> su çekilmektedir. Enerji üretiminde ise için toplam 10 m<sup>3</sup>/s'lik bir proje debisi kullanılmaktadır. Güncel durumda ünitelerin tümühenüz işletmeye alınmadığından dolayı baraj rezervuar hacminin ve ünitelerin su taleplerinin karşılanmasında bir problem yaşanmamaktadır.

<sup>11</sup> TheLong-range Energy Alternatives Planning System: Uzun Dönemli Alternatifli Enerji Planlama Programı

Bahçelik Barajı ünitelerinin tamamının işletmeye alınacağı yıl olan 2025 yılı tam gelişme durumu olarak kabul edilmiştir. Baraj, 2025 yılında tam gelişmeye ulaştığında 6 adet sulama ünitesinin, 1 adet HES'in ve Sarımsaklı Barajı'nı ikame etme amaçlı Sarımsaklı İletiminin su taleplerini karşılamaya çalışacaktır. Bu durumda ise barajdan yıllık 233,83 hm<sup>3</sup> su çekilecektir.

Benzetim modelinde Zamantı Irmağının dolayısıyla Bahçelik Barajı ve HES'in giriş akımları olarak Bahçelik Barajı aks yerine çok yakın olan E18A012 ile E18A023no'luAGİ'lerin 1957–2014 periyodundaki aylık doğal akımları kullanılmıştır. E18A012 no'lu AGİ 1974 yılında kapatılmış ve yerine E18A023 no'lu AGİ açılmıştır. E18A023 no'lu AGİ de 1999 yılında kapatıldığından dolayı bu iki istasyon arasında alanları oranında korelasyon ve taşıma yapılarak istasyon akımları 2014 yılına kadar getirilmiştir. İstasyon değerlerinin baraj yeri giriş akımı olarak kullanılabilmesi için değerlerin baraj aks yerine taşınması gerekir. Ancak burada istasyonların baraj aks yerine oldukça yakın olması, istasyon ile baraj aks yeri arasında da herhangi bir yan kol olmaması nedeni ile istasyon değerinin doğrudan baraj yeri giriş akımları olarak kullanılmasında bir sakınca görülmemiştir. Barajın aylık doğal akımları, baraj membasındaki tüm sulama, enerji, balıkçılık vb. su tüketimlerinin ölçülmüş akımlara eklenmesi ile bulunmuştur. Bahçelik Barajı yıllık ortalama toplam akımı 1957–2014 periyodunda 325,33 hm<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır. Bahçelik Barajı 1957–2014 yılları arası aylık ortalama akımları Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4: Bahçelik Barajı Aylık Ortalama Akımları

WEAP modeline baraj giriş akımları tanıtıldıktan sonra programa ünitelerin her biri için toplam su tüketimleri, su ihtiyaçları ve buharlaşma kayıpları da girilmiştir. Ayrıca sulama ana iletim hatlarının başlangıç kapasiteleri, Sarımsaklı iletiminin kapasitesi ve HES ünitesinin proje debisi programa tanıtılmıştır.

WEAP programında baraj haznesi, dört ana bölümden oluşur. Bu bölümler: ölü hacim, tampon (buffer) bölge hacmi, depolama hacmi ve taşkın kontrol hacmidir. Burada tampon bölge hacmi kritik olan bölümdür. Baraj depolama hacmi tampon bölge hacminin altına düştüğünde baraj kısıntılı sulama yapar. 0–1 arasında değişen tampon katsayısının seçimi ile ya taleplerin karşılanması ya da depolanmanın korunması sağlanır. Tampon katsayısı 1'e yaklaştıkça taleplerin karşılanması, 0'a yaklaşması ile de depolanmanın korunması artırılır. Bu denge değerlendirilirken baraj aktif hacmi değiştiğinde enerji üretiminin de değişeceğine dikkat edilmelidir. Çalışmamızda işletme öncelik kabullerine göre tampon katsayısı 0 ve 1 aralığında seçilmiştir.

WEAP modeli ile yapılan benzetimde amaç bir su sisteminde akış önceliklerine bağlı olarak tesisler arasındaki kütle denklemini sağlamaktır. WEAP programı benzetimleri yaparken bu kütle denklemini sadık kalarak en iyileme yöntemlerinden biri olan doğrusal programlama yöntemini kullanmaktadır. Buradaki amaç faydalar içerisinde en uygun değerleri elde edebilmektir. Modelleme ve benzetim

sonucundaki işletme çalışmasına göre; ırmak akımlarının değişimi, baraj rezervuar hacmi ve bölümlerinin durumu, rezervuarın su taleplerini karşılayıp karşılayamadığı, talep noktalarının aylık ya da yıllık baz da ihtiyaç ve tüketimleri arasındaki değişimler, öncelikler arasındaki su kullanım ilişkisi ve sulama ile enerji arasındaki ilişki değerlendirilmiştir.

Çalışmamızda ilk olarak WEAP programının kendi içinde varsayılan olarak kabul ettiği işletme kabullerine göre model üzerinden benzetimler yapılmıştır. Buradaki kabul; baraj rezervuarının işletme periyodu boyunca dolu kalması önceliğinin, ünitelerin taleplerinin karşılanmasından daha sonraya bırakılması ve sulama ünitelerinin kendi içlerindeki önceliklerinin ise işletmeye alınma sıraları ile orantılı olacak şekilde seçilmesidir. Enerji üretimi önceliği ise sulama üniteleri ve Sarımsaklı Barajı iletiminden daha sonraya bırakılmıştır. Tampon bölge hacmi olarak  $80,00 \text{ hm}^3$  ve tampon katsayısı ise 0,5 olarak seçilmiştir. Bunun anlamı şudur; baraj rezervuarı,  $80,00 \text{ hm}^3$ 'ün altına düşene kadar ünitelerin talepleri karşılanmaya çalışılacak ve rezervuar hacmi de çok fazla düşmeyerek dengede kalacaktır. Rezervuar hacmi bu tampon hacminin altına indiği takdirde ise ünitelere kısıntılı bir şekilde su verilecektir. Burada belirlenen tampon bölge hacmi keyfi olarak seçilmiştir. Ancak barajın ölü hacmi olan  $31,30 \text{ hm}^3$ 'ün üzerinde seçilmesinde fayda vardır.

WEAP programının varsayılan kendi işletme kabulü dışında, daha uygun sonuçlar elde edebilmek için farklı öncelik ve kısıtlamalar belirlenerek iki tane daha farklı işletme kabulü belirlenmiştir. Bu kabullerden ilkinde; baraj rezervuarının işletme periyodu boyunca dolu kalması önceliği, programın varsaydığı en son öncelik sıralaması olan "99" olarak seçilmiştir (öncelik aralığı 1–99'dur). Tampon bölge hacmi  $100,00 \text{ hm}^3$  ve tampon katsayısı ise 1 seçilmiştir. Yani program, işletme çalışmasında baraj rezervuar hacminin  $100,00 \text{ hm}^3$ 'ün altına indiği durum için daha çok sulama ünitelerinin ve Sarımsaklı İletiminin taleplerini karşılamayı amaçlayacaktır. Ünitelerin kendi içlerindeki talep öncelikleri ise işletmeye alınma sıraları ile orantılıdır. Enerji üretimi önceliği de yine sulama üniteleri ve Sarımsaklı Barajı iletiminden daha sonraya bırakılmıştır. Diğer bir işletme kabulünde ise baraj rezervuar hacminin dolu olmasına ilk öncelik verilmiştir. Baraj rezervuarı aybaşlarında hep tam dolu olacak şekilde işletme periyoduna başlayacaktır. Baraj rezervuarı için tampon bölge hacmi, ölü hacim ( $31,30 \text{ hm}^3$ ) olarak ve tampon katsayısı ise 0 seçilmiştir. Baraj rezervuar hacminin aybaşlarında tam dolu olarak seçilmesi ile enerji üretiminde de belirgin bir kayıp olmayacaktır. Ünitelerin öncelikleri ise fayda büyüklükleri ile orantılı olacak şekilde belirlenmiştir. Yapılan tüm bu kabullere yönelik belirlenen talep öncelikleri Tablo 3'te, WEAP modeli üzerinden yapılan benzetim çalışmaları sonuçlarının sonuçları ise Tablo 4'te verilmiştir.

**Tablo 3:** İşletme Kabullerine Göre Ünitelerin Talep Öncelikleri

TALEP NOKTALARI	TALEP ÖNCELİKLERİ		
	WEAP Varsayılan İşletme Kabulü	1.İşletme Kabulü	2.İşletme Kabulü
Bahçelik Barajı	9	99	1
Pazarören–Samağır Sulaması	1	1	8
Köprübaşı–Ekrek Sulaması	2	2	9
Bünyan–Elbaşı–Karadayı Sulaması	3	3	5
Bünyan–Sarioğlan Sulaması	4	4	4
Tomarza Sulaması	5	5	7
Fraktin Sulaması	6	6	6
Sarımsaklı İletim	7	7	3
Bahçelik HES	8	8	2

**Tablo 4: Benzetim Sonuçları**

İŞLETME SONUÇLARI	ÇALIŞMASI	Gerçek İşletme Değerleri	WEAP Varsayılan İşletme Kabulü	1. İşletme Kabulü	2. İşletme Kabulü
Depolama Hacmi (hm <sup>3</sup> )		216,14	142,30	42,80	216,14
Su Seviyesi (m)		1500,00	1492,85	1475,10	1500,00
Enerji Üretimi (GWh/yıl)		27,00	23,20	16,60	26,40
Enerji Tasarım Debisi (m <sup>3</sup> /s)		10,00	8,25	5,17	9,38
Barajdan Çekilecek Su Miktarı (hm <sup>3</sup> /yıl)		233,83	273,30	244,43	239,83
Karşılanamayan Su Talebi (hm <sup>3</sup> /yıl)		---	39,47	10,60	6,00
<b>Talep Noktalarının Verimlilikleri (%)</b>					
Pazarören-Samağır Sulaması		100	100	100	86
Köprübaşı-Ekrek Sulaması		100	100	100	92
Bünyan-Elbaşı-Karadayı Sulaması		100	97	99	97
Bünyan-Sarioğlan Sulaması		100	75	91	98
Tomarza Sulaması		100	72	90	97
Fraktin Sulaması		100	69	88	95
Sarımsaklı İletim		100	65	83	97
Bahçelik HES		100	86	62	98

Çeşitli kabullerle yapılan bu benzetim çalışmaları neticesinde; WEAP programının varsayılan kendi işletme kabulünde, işletme periyodu boyunca barajın rezervuar hacmi 142,30 hm<sup>3</sup>'e kadar düşmüştür. Bahçelik Barajından üniteler için çekilecek olan su miktarı 273,30 hm<sup>3</sup>olarak hesaplanmıştır. Barajın gerçek işletme şartlarında çekilmesi gereken su miktarı ise 233,83 hm<sup>3</sup>'tür. Bundan dolayı sistemde 39,47 hm<sup>3</sup>'lük su açığı ortaya çıkmış olup bazı ünitelerin talepleri de tam olarak karşılanamamıştır. Sadece Pazarören-Samağır Sulaması ile Köprübaşı-Ekrek Sulaması su talepleri % 100 karşılanabilmiştir. Ayrıca benzetim çalışmasında, Bahçelik HES'in 27,00 GWh olan yıllık enerji üretiminin % 86'sına tekabül eden 23,20 GWh'lık bir enerji üretimi elde edilebilmiştir.

Birinci işletme kabulü ile yapılan benzetim çalışmasında, işletme periyodu boyunca barajın rezervuar hacmi 42,80 hm<sup>3</sup> seviyesine kadar düşmektedir. Bahçelik Barajından üniteler için çekilecek olan su miktarı 244,43 hm<sup>3</sup>olarak çıkmakta olup yine sistemde 10,60 hm<sup>3</sup>'lük bir su açığı ortaya çıkmıştır. Bu kabulde sistemdeki su açığı azaltılmış olup ünitelerin taleplerinin karşılanma yüzdeleri ise artmıştır. Ancak rezervuar seviyesindeki düşüşten dolayı barajın enerji üretimi oldukça düşmüştür. Barajın enerji üretimi yıllık 16,60 GWh'a, tasarım debisi ise 5,17 m<sup>3</sup>/s'e düşmüştür. Barajın gerçek işletme koşullarına göre bu oldukça düşük bir değerdir.

Sistemdeki su açığının tamamen ortadan kaldırılamaması ve enerji üretimindeki bu aşırı düşüşten dolayı yapılan bu işletme kabulü de uygun bir çözüm olmamıştır. Bundan dolayı farklı öncelik ve kısıtlara sahip ikinci bir işletme kabulü yapılmıştır. Bu benzetim çalışması sonucunda ise sistemdeki su açığı 6,00 hm<sup>3</sup>'e kadar düşmüştür. Bahçelik Barajı HES'in yıllık enerji üretimi ise 26,40 GWh olarak elde edilmiştir. Sulama ve iletim ünitelerinin taleplerini karşılama yüzdeleri de oldukça iyi seviyelere çıkmıştır.

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Türkiye'nin önemli havzalarından Seyhan Havzasının bir alt havzası olan Zamantı Irmağı Havzasındaki DSİ'e ait en önemli proje Kayseri Pınarbaşı Bahçelik Projesidir. Bu proje ile yörede tarım başta olmak birçok sektörde ciddi bir gelişmenin olacağı düşünülmektedir. Bahçelik Barajının inşaatı 2006 yılında tamamlanmış olup baraj ile toplam 49033 ha tarım arazisi modern sistemlerle sulanacak ve yıllık 27,00 GWh enerji üretimi sağlanacaktır. Ayrıca Sarımsaklı Barajı'nın ana su kaynağı olan Bünyan Kaynağı, Kayseri Kanalizasyon ve Su İdaresi Genel Müdürlüğüne içme suyu amaçlı olarak kullanılacağından,

2025 yılından itibaren Sarımsaklı Barajı'na Bahçelik Barajı'ndan yılda 30,97 hm<sup>3</sup> suyun iletimi sağlanacaktır. Barajın 6 adet sulama ünitesi, bir adet iletim ünitesi ve kendi içinde iki üniteye sahip HES tesisi bulunmaktadır. 2015 yılı itibari ile Pazarören-Samağır Sulaması, Köprübaşı-Ekrek Sulaması ve Bahçelik HES işletmede olan ünitelerdir.

Bahçelik Barajı ve üniteleri, son yıllarda su ve toprak kaynakları planlama ve değerlendirme çalışmalarında sık kullanılmakta olan WEAP programı ile modellenmiştir. Barajın tüm ünitelerinin devreye alınacağı ve tam kapasite ile çalışacağı yıl olan 2025 yılı tam gelişme durumu senaryosu olarak kabul edilmiş olup WEAP modeli üzerinden işletme benzetim çalışmaları yapılmıştır.

Benzetim modelinde Zamantı Irmağının dolayısıyla Bahçelik Barajı ve HES'in giriş akımları olarak Bahçelik Barajı aks yerindeki E18A023no'luAGİ'nin 1957-2014 periyodundaki aylık doğal akımları kullanılmıştır. Barajın ünitelerinden aylık ve yıllık olarak çekilecek su miktarları, kot-alan-hacim değerleri, buharlaşma değerleri, kanal ve iletim hatlarının kapasiteleri, HES proje debisi gibi parametreler programa tanıtılmıştır.

Bahçelik Barajı ve HES'in işletme çalışmasında ünitelerin su arz-talep dengeleri, rezervuar hacmi ve zonlarının durumu, faydaların verimlilikleri ve sulama ile enerji üretiminin birbiri üzerine etkileri değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme yapılırken ünitelere çeşitli öncelikler ve kısıtlar verilerek işletme çalışmaları yapılmıştır. Mevcut durumda DSİ tarafından belirlenen proje formülasyonu ve işletme çalışması ile program ile elde edilen benzetim sonuçları karşılaştırılmıştır.

WEAP programı ile oluşturulan model üzerinden yapılan benzetim sonuçlarına göre; ortalama yıllık toplam akımı 325,33 hm<sup>3</sup> ve rezervuar hacmi 216,14 hm<sup>3</sup> olan Bahçelik Barajının tam gelişme durumunda, tüm ünitelerine güvenilir bir şekilde su sağlayamayacağı sonucu ortaya çıkmıştır. WEAP programının kendi varsayılan işletme kabulüne göre 39,47 hm<sup>3</sup>, birinci işletme kabulüne göre 10,60 hm<sup>3</sup>, ikinci işletme kabulüne göre ise 6,00 hm<sup>3</sup> sistemde su açığının olduğu görülmüştür. DSİ'nin kabul ettiği gerçek işletme koşullarında baraja gelen akımlarla yapılan işletmede sistemde su açığı oluşmamaktadır ancak programın çıktılarında sistemde su açığı oluşmaktadır. Yine DSİ'nin işletme çalışmasında gelen akıma bağlı olarak barajın tüm ünitelerinin talepleri % 100 oranında karşılanacak şekilde bir formülasyon belirlenmesine rağmen benzetim çalışmasında talepler hiçbir işletme kabulünde % 100 oranında karşılanamamıştır. WEAP programının klasik bir baraj rezervuar işletmesinde yetersiz kaldığı sonucuna ulaşılmıştır.

Program işletme çalışmasını yaparken su tahsislerini çeşitli öncelik ve kısıtlara göre yapmaktadır. Barajın işletme periyodu boyunca dolu kalması önceliği, sulamanın önceliği ya da enerji üretimi önceliği model ve benzetim çalışmasının başarısını en çok etkileyen faktörlerdir. İkinci işletme kabulünde enerji üretiminin önceliği sulama ünitelerinin önceliğine göre daha yüksek seçildiğinden benzetim sonucunda enerji üretimi 26,40 GWh olarak elde edilmiş olup bu gerçek değerinin % 98'ine tekabül etmektedir. Oysaki birinci işletme kabulünde sulama ünitelerinin öncelikleri enerji üretiminden daha yüksek olup enerji üretimi 16,60 GWh seviyesinde kalmıştır. Sulama ile enerji üretimi arasındaki ilişkinin talep öncelik sıralamasına göre göreceli bir denge içerisinde olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

İşletme çalışmasında en uygun sonuçları ikinci kabul vermiştir. Baraj rezervuar hacmi işletme periyodu boyunca maksimum hacimde kalmış, sistemdeki su açığı tamamen kapatılamamış ancak sulama üniteleri ve iletimin su talepleri büyük oranda karşılanmış ayrıca enerji üretimi barajın gerçek değerine çok yaklaşmıştır. Ancak bu kabulde talep öncelikleri belirlenirken HES önceliğinin sulama önceliklerinden daha öne alınmış olması ve gerçekte rezervuarın hep dolu olmasının özellikle akım rejimine bağlı olarak çok güç bir durum olduğu gözden kaçırılmamalıdır.

Çalışmamızda daha çok baraj rezervuar hacmi ve bölümlerinin durumu ile talep noktalarının su ihtiyaçlarının karşılanabilme olanakları üzerinde durulmuştur. WEAP programı çok çeşitli senaryo ve kabuller içermektedir. WEAP programı ile baraj işletme çalışmalarında giriş-çıkış akımlarının rezervuar ve talepler için etkili kullanılabilme olanakları araştırılabilir. Baraj ve ünitelerindeki yağış, buharlaşma, sızma, iletim kayıpları, savaklanan sular ve geri dönen sular gibi girdi ve çıktılar için kapsamlı bir WEAP modeli oluşturulup çeşitli analizler yapılabilir. Ayrıca çeşitli amaçların gelecekteki durumlarını değerlendirebilmek adına iyi ve kötü senaryo durumları için analizler yapılabilir. WEAP programı ile bir nehir üzerine ardışık olarak kurulmuş baraj ya da HES tesisleri için modeller oluşturulabilir.



## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Devlet Su İşleri 2015 Yılı Faaliyet Raporu: <http://www.dsi.gov.tr/stratejik-planlama/faaliyet-raporlari> adresinden alındı. Erişim tarihi: Mart 2016.
- [2] P. Raskin, E. Hansen, Z. Zhu, D. Stavisky, Simulation of water supply and demand in the aral sea basin, *Water International*, 17, (1992) 55-67.
- [3] Ş. P. Güvel, Ceyhan Ve Seyhan Havzaları'nın Hec-5 Programı İle Taşkın Kontrolü Ve Enerji Optimizasyon Amaçlı Simülasyonu. Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye, 1997.
- [4] O. N. Özdemir, Çok amaçlı barajların işletilmesi. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak.*, 16: 2 (2001): 53-61.
- [5] F. Hanbali, HEC-ResSim Reservoir Model for Tigris and Euphrates River Basins in Iraq. *Advance in Hydrologic Engineering Center-US Army Corps.*, 2004.
- [6] R. Arranz, Future Water Demands and Resources in the Olifants Catchment, South Africa: a Scenario Analysis Approach Using the WEAP Model. Colorado State University, Department of Civil Engineering, Colorado, USA., 2006.
- [7] I. Hagan, Modelling the Impact of Small Reservoirs in the Upper East Region of Ghana. Lund University, Division of Water Resources Engineering Department of Building and Environmental Technology, Lund, Sweden, 2007.
- [8] B. Yılmaz, N.B., Harmancioglu, Multi-criteria decision making for water resources management: a case study of the Gediz River Basin in Turkey. *Water SA*, 36:5 (2010) 563-576.
- [9] A. J. Akandi, Impact of Small Reservoirs and Dugouts in Ghana on Hydrology and Water Allocation in Theblack Volta Basin. Kwame Nkrumah University of Science and Technology, Department of Civil Engineering, Kumasi, Ghana, 2013.
- [10] H. Yılmaz, Akarçay Havzası Entegre Su Kaynakları Yönetiminin Belirlenmesinde WEAP (Water Evaluation and Planning System) Yaklaşımının Kullanılması. Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, 2015.
- [11] E. Büyükaslan, Aksaray Bölgesi Su Kaynaklarının WEAP Programı ile Geleceğe Dönük Planlanması. Aksaray Üniversitesi, Aksaray, 2019.
- [12] A. J. Sharef, Khalifan Nehir Havzasında Entegre Su Kaynakları Yönetimi, Hasan Kalyoncu Üniversitesi, İstanbul, 2019.
- [13] C. Aslan, Burdur Alt Havzası Entegre Su Kaynakları Yönetiminin Belirlenmesinde Weap (Water Evaluation And Planning System) Modelinin Kullanılması, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2019.
- [14] H. Chang, Y. Zhao, Q. Wang, J. Wang, H. Li, J. Zhai, J. Han, S. Jiang, Available water supplies in beijing, china, under singleand multi-year drought, *Journal of the American Water Resources Association*, 56:2 (2020) 230-246.
- [15] DSİ 12. Bölge Müdürlüğü, 2016 Yılı Bölge Takdim Raporu, Kayseri, 2016.
- [16] BİRLİK – EKATEK – HİDRODİZAYN, Zamantı Bahçelik Projesi Planlama Revizyonu Raporu, Ankara, 2003.
- [17] U. Akbulut, Çok Amaçlı Baraj İşletme Çalışmaları ve Ceyhan Havzasının Hec-5 Benzetim Programı ile Modellenmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Ankara, 2003.
- [18] M. Bayazit, Benzetim. İTÜ İnşaat Fakültesi, İstanbul, 1994.
- [19] R. A. Wurbs, Reservoir-system simulation and optimization models. *Journal of Water Resource Planning and Management*, 119: 4 (1993) 445–472.
- [20] DSİ Genel Müdürlüğü, Mühendislik Meslek Eğitimi Semineri, 27-60, İznik, 2010.
- [21] Stockholm Environment Institute (SEI) WEAP (Water Evaluation and Planning System) User Guide for WEAP21: <http://www.weap21.org/> adresinden alındı. Erişim Tarihi: Kasım 2015.