



**DEVELOPMENT OF OPTIMUM DYNAMIC MANAGEMENT MODEL OF BEYŞEHİR LAKE**

**Ahmet Sancak ŞANLI\*, Ahmet DOĞAN**

*Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Davutpaşa-İSTANBUL*

Received/Geliş: 04.08.2014 Revised/Düzelme: 12.02.2015 Accepted/Kabul: 10.03.2015

---

**ABSTRACT**

Effective and sustainable management of available water resources has great importance by considering that the current increasing trend in world population and consequent decreasing trend in fresh water resources. It is possible to estimate the stresses on water resources due to some factors such as current population growth ratio and variations of water consumption habits. This study is aimed to develop climate dependent optimum dynamic management model of Lake Beyşehir which is one of the most important and yet the largest freshwater lake of Turkey. The concept of optimum dynamic model refers to determination of minimum allowable water surface elevation of lake management by using the precipitation, evaporation and groundwater elevation data of current and/or previous years. Optimization model is developed by using GAMS (General Algebraic Modeling System) software. Daily evapotranspiration is calculated by using Penman-Monteith method which is suggested by FAO (United Nations Food and Agriculture Organization). Crop-water requirement is calculated by Blaney-Criddle method which is widely used by agricultural engineers. Groundwater levels are obtained from the regional groundwater flow model of the lake which was generated with MODFLOW software.

**Keywords:** Lake Beyşehir, optimisation, GAMS, Penman-Monteith, blaney criddle.

**BEYŞEHİR GÖLÜ OPTİMUM DİNAMİK İŞLETME MODELİNİN OLUŞTURULMASI**

**ÖZET**

Günümüzde artan dünya nüfusu ve giderek azalan temiz su kaynakları nedeniyle mevcut su kaynaklarının etkin ve sürdürülebilir yönetimi büyük önem taşımaktadır. Mevcut büyüme hızı, su tüketim alışkanlıklarının değişmesi gibi faktörlerin etkisi ile su kaynakları üzerinde olabilecek baskıları tahmin etmek mümkündür. Bu çalışmada ülkemizin sahip olduğu en önemli temiz su kaynaklarından biri olan Beyşehir Gölü'nün mevcut iklim verilerine bağlı olarak, optimum dinamik işletme modelinin oluşturulması amaçlanmıştır. Optimum dinamik işletme modeli kavramı gölün minimum işletme kotunun önceki yılların ve/veya mevcut yılın yağış, buharlaşma ve yeraltısuyu seviyeleri dikkate alınarak belirlenmesini ifade etmektedir. Optimizasyon modeli GAMS (matematiksel paket programlama) yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur. Günlük potansiyel buharlaşma tahminlerinde, hidroloji mühendisliğinde kullanılan yöntemlerden biri FAO (Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Organizasyonu) tarafından önerilen Penman-Monteith yöntemi, bitki su ihtiyacı tahmininde ise ziraat mühendisliğinde de sıkça kullanılan Blaney-Criddle yöntemi kullanılmıştır. Yeraltı suyu verileri, Modflow bilgisayar programı ile oluşturulan havza yer altı suyu modelinden elde edilmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Beyşehir Gölü, optimizasyon, GAMS, Penman-Monteith, blaney criddle.

---

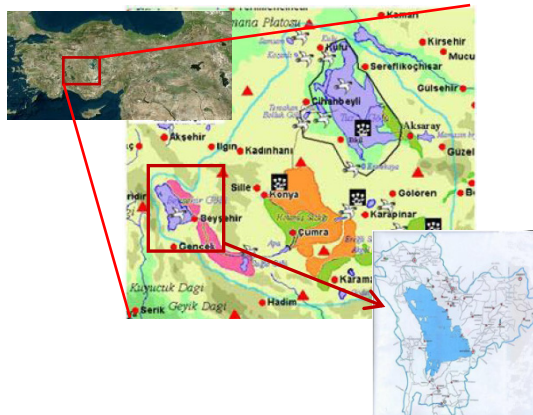
\* Corresponding Author/Sorumlu Yazar: e-mail/e-ileti: sancak.sancak@gmail.com, tel: (212) 383 51 73

## 1. GİRİŞ

Dünyada kullanılabilir tatlı su miktarının giderek azalması ve dünya nüfusunun hızlı artış sebebiyle tatlı suya olan ihtiyaç günden güne artmaktadır. Yılda kişi başı su potansiyelinin 1700 m<sup>3</sup>'den düşük olduğu ülkeler "su fakiri", 1000 m<sup>3</sup>'den düşük olduğu ülkeleri de "su kıtlığı" olan ülke olarak tanımlanmaktadır.[1] Ülkemizin 2011 nüfusu yaklaşık 74 milyon ve kişi başına düşen su miktarı ise 1566 m<sup>3</sup>/yıl'dır. Bu rakamlar ülkemizin su azlığı çeken bir ülke olduğunu göstermektedir. Mevcut büyüme hızı, su tüketim alışkanlıklarının değişmesi gibi faktörlerin etkisi ile su kaynakları üzerine olabilecek baskıları tahmin etmek mümkündür. Dolayısıyla Türkiye'nin gelecek nesillerine sağlıklı ve yeterli su bırakabilmesi için kaynaklarının çok iyi korunup, akılcı kullanılması yani en etkin ve sürdürülebilir biçimde yönetilmesi gerekmektedir.[2]

Kullanılabilir su kaynaklarının öneminin artmasına paralel olarak son yıllarda Beyşehir Gölü sorunlarının belirlenmesine yönelik çalışmalarda artış olmuştur. Konya kapalı havzasının güney batısında yer alan Beyşehir Gölü Türkiye'nin 3. büyük gölü ve daha da önemlisi en büyük tatlı su gölüdür. Beyşehir Gölü Havzası, İç Anadolu Bölgesi'nin en büyük kapalı havzası olan Konya Kapalı Havzası'nın en önemli bileşenlerindedir. Gölün su seviye kotu 1120-1125,5 m arasında değişmekte olup, ortalama derinliği 8,5 m, boyu 44 km, eni 10-25 km arasında çevresi ise 120 km'dir.(Şekil 1)

Gölün temel olarak özellikle göl su kalitesi ve miktarı ile de ilgili olmak üzere; yağışların yetersizliği ve gölden fazla su çekimi, gölün kirlenmesi, biyolojik çeşitliliğin tehdit altında olması ve idari yönden çok başlılık temel sorunlar olarak görülmektedir. Göl su seviyesi, sulamada kullanılan sular ve iklim koşulları nedeniyle sürekli değişimlere maruz kalmaktadır. Bu değişimin ne kadarının iklimden kaynaklandığı ne kadarının su kullanımından kaynaklandığının belirsizliğini koruması sürekli bir tartışma konusu olmaktadır. Beyşehir Gölü doğal bir göl olmasına rağmen, Beyşehir ilçesinde bulunan regülatörler ile gerekli görülen hallerde kontrollü olarak su salınabilmesi, göle doğal bir baraj olma özelliği sağlamaktadır. Ancak hangi aylarda ne kadar su salınması ve göl yüzey kotunun minimum kotunun ne olması gerektiği hususunda regülatörü kontrol eden DSİ ve yerel otoriteler arasında fikir birliği sağlanamamaktadır. Gelecek aylarda su seviyesinin yaklaşık olarak hangi kotta olacağı belirsiz kalmaktadır. Az su salınımı taşkın riskini arttırmakta, tarım gelirlerini azaltmaktadır. Fazla salınım ise tarım gelirlerini arttırmasına rağmen gölde kuruma riski oluşturmakta, turizm gelirlerini azaltmakla beraber yerel halkın tepki göstermesine neden olmaktadır.



Şekil 1. Beyşehir Gölü'nün Konumu

Beyşehir Gölü ile ilgili farklı alanlarda çeşitli çalışmalar mevcuttur.60'lı yıllardan itibaren göl su seviyesindeki değişimleri ve bu değişimlerin çevreye olan etkilerini analiz eden

çalışmalarda artış gözlenmiştir. 90'lı yıllardan itibaren gelişen bilgisayar teknolojisi ve modelleme programları ile özellikle yeraltısuyu modelleme ve optimizasyon çalışmaları büyük ivme kazanmıştır.

Modelleme ve optimizasyon alanındaki ilk çalışmalar 1933 yılında Leontief tarafından dış ticaret ve ekonomi yapılarını modellemek amacı ile yapılmış daha sonra 1939 yılında Rus matematikçi Kantorovich [3], üretim planlamasında en sıklıkla karşılaşılan problemlerin modellenmesine ve elde edilebilecek en iyi sonuçları bulma metodlarını anlattığı makalesiyle modern üretim sistemlerinde optimizasyona olan ihtiyacı ortaya koymuştur. Su optimizasyonunun öneminin anlaşıldığının ve uygulamaların gün geçtikçe arttığının örneği olarak 1975 yılında ABD'de gerçekleştirilen bir anket verilebilmektedir. Bu ankete göre 1975 yıllana kadar 536 adet su optimizasyonu projesinin gerçekleştirildiği görülmektedir.[4] Amit Sinha ve ark. [5] batı Hindistan'da çok amaçlı rezervuar sisteminde doğrusal olmayan optimizasyon programı ile çeşitli amaçları dikkate alarak optimum aktif kapasiteyi belirlemişlerdir. Ülkemizde, Atilla [6] da Afyonkarahisar Ovası'nda yeraltısuyu kuyularındaki çekimlere bağlı olarak seviye düşüşlerinin belirlenmesine yönelik bir çalışma yapmıştır. Bu amaca yönelik olarak Modflow matematiksel modeli aracılığıyla ovadaki yeraltısuyu akımını modelleyerek, ovadaki hidrolik yük dağılımının yer ve zaman içindeki dağılımını belirlemiştir [7].

Optimizasyon, bir sistemde var olan kaynakların (işgücü, zaman, kapital, süreçler, hammaddeler, kapasite, ekipman gibi) en verimli şekilde kullanılarak belirli amaçlara (maliyet en azaltılması, kâr en çoklanması, kapasite kullanımının en yükseltilmesi ve verimliliğin en çoklanması gibi) ulaşmayı sağlayan bir teknoloji olarak tanımlanmaktadır [8]. Kısacası optimizasyon mevcut koşullar altında en iyiyi arayan, belirli kısıtlar altında bir fonksiyonun maksimum ya da minimumunun bulunmasıyla ilgilenen matematiksel bir süreçtir [9].

Bu doğrulda, bu çalışma ile son yıllarda optimizasyon problemlerinde yaygın olarak kullanılan GAMS (The General Algebraic Modeling System) Paket Programı kullanılarak farklı senaryolar altında Beyşehir Gölü yöresindeki tarımsal faaliyetler için gölden çekilecek su miktarının ne olması gerektiği, iklim koşulları ile göl hacminden eksilen su miktarının ne olacağı ve farklı iklim senaryoları altında göl su seviyesinin gelecek yıllarda hangi kotta olacağını hesaplanması amaçlanmıştır.

## 2. GÖL İŞLETME MODELİNİN OLUŞTURULMASI

Bu çalışma ile oluşturulan model GAMS yazılımı kullanılarak oluşturulmuş ve model içerisindeki denklemler NLP (doğrusal olmayan programlama) yöntemi ile çözülmüştür.

GAMS, matematiksel paket programlama içerisinde kullanılan en önemli programdan biridir. Kullanımı giderek artarak mühendislik problemlerinin çözümünde de kullanımı yaygın hale gelmiştir. Özel olarak doğrusal, doğrusal olmayan ve karmaşık tam sayı optimizasyon problemleri (minimizasyon, maksimizasyon ve simülasyon) modelleri için tasarlanmıştır. Bir problemin GAMS yazılımı kullanılarak çözümü genel olarak yedi adımda gerçekleştirilmektedir. Bu çalışma ile hazırlanan model oluşturulurken izlenen adımlar şunlardır;

- 1-İndislerin tanımlanması
- 2-Girdilerin tanımlanması
- 3-Serbest ve pozitif değişkenlerin tanımlanması
- 4-Denklem ve kısıt fonksiyonlarının tanımlanması
- 5-Modele dahil edilmesi istenen kısıt ve denklemlerin yazılması.
- 6-Çözüm yönteminin seçilmesi.
- 7-Sonuçların değerlendirilmesi.

GAMS modelleme programında indisler "sets" komutu kullanılarak oluşturulmaktadır. Bu çalışmada kullanılan indisler yıllar ve ayları temsil etmektedir. Model 5 yıllık veriler kullanılarak oluşturulmuştur. Kullanıcı tercihine göre süre istenildiği kadar uzatılabilmektedir. Hesaplamalar aylık adımlarda yapılmaktadır. Y indisi ile yıllar, A indisi ile aylar tanımlanmıştır.

Turizm gelirleri ve su kullanım alışkanlıkları yaz ve kış aylarında farklılık gösterdiğinden, ayları temsil eden A indisi YAZ ve KIŞ olmak üzere sıcak ve soğuk mevsimleri temsil eden YAZ(A) ve KIS(A) olarak iki alt indise ayrılmıştır.

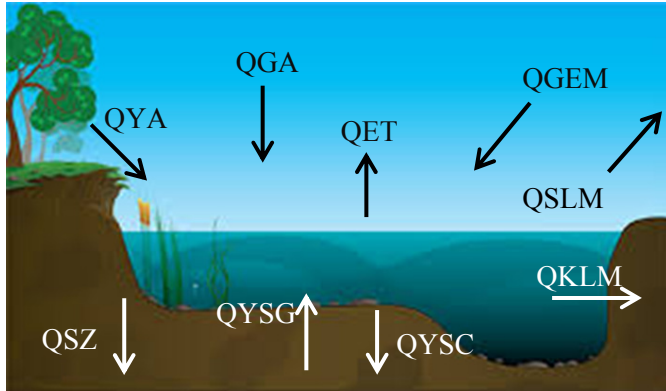
İndislerin tanımlanmasından sonra modele etki eden girdiler tanımlanmıştır. Bazı girdiler, yılın her ayı farklı değerlere sahip iken bazıları her zaman sabit kalmaktadır. Her ay farklı değerlere sahip olacak şekilde tanımlanan girdiler şunlardır; ya(A,Y) : Yağış miktarı (mm/ay), bh(A,Y) : Buharlaşma yüksekliği (mm/ay), bsi(A,Y): Bitki su ihtiyacı (mm/ay) , ks(A,Y) : Kullanım suyu (hm<sup>3</sup>/ay)

Model girdilerine etki eden çeşitli iklimsel ve coğrafi değişkenler bulunmaktadır. İklimsel değişkenler dikkate alınarak;

- o Yüzeysel akış değerleri: Ölçümler ve hidrograflar kullanılarak
- o Yağış değerleri: Meteoroloji istasyonu ölçüm değerleri kullanılarak
- o Göl yüzeyinden buharlaşan su: Penman-Monteith Modeli
- o Sızma ve yeraltı suları: MODFLOW üç boyutlu yer altı suyu akım programı
- o Sulama suyu miktarları: Penman-Monteith ve Blaney-Criddle modelleri
- o İçme ve kullanım suyu: Nüfus projeksiyonu yapılarak
- o Gembos Derivasyon Kanalı Etkisi: Geçmiş yılların istatistiklerinden yararlanılarak
- o Su seviyesi sosyal fayda ilişkisi: Literatür araştırması yapılarak
- o Fayda denklemi önem katsayıları: Piyasa araştırması yapılarak tespit edilmiştir.

Tüm bu çalışmalar sonucu elde edilen değerler GAMS optimizasyon yazılımına aktarılarak modele son şekli verilmiştir. Beyşehir Gölü basitçe Şekil 2.'de olduğu gibi ifade edilecek olursa göl su bütçesini ve dolayısı ile işletme modelini etkileyen hacimler şunlardır;

- QYA: Yüzeysel akış ile göle ulaşan su hacmi
- QGA: Yağış ile direkt olarak göle düşen su hacmi
- QYSG ve QYSC: Yer altı suyu giren su ve çıkan su hacmi
- QYSC: Yer altı suyu çıkan su hacmi
- QGEM: Gembos Derivasyon Kanalı ile göle giren su hacmi
- QET: Göl yüzeyinden buharlaşan su hacmi
- QSZ: Sızma sonucu uzaklaşan su hacmi
- QSLM: Sulama amacı ile salınan su hacmi
- QKLM: İçme ve kullanım amaçlı salınan su hacmi.



**Şekil 2.** Göl Optimizasyon Modeli Temel Girdileri

Değişken ve sabit girdilerin tanımlanmasından sonra model ile çözülmesi gereken denklemler ile bu denklemleri etkileyen kısıtlar tanımlanmaktadır. GAMS yazılımı kullanılarak kullanıcı tarafından tanımlanmış olan amaç fonksiyonunun maksimize ya da minimize

edilmektedir. Bu çalışmada maksimize edilen ve adı “FAYDA” konulan amaç fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanmıştır;

$$FAYDA = (BEAF)+(SOSYALF)-(QSLMM)-(TASZ)-(QSALM)+(KURUTF)$$

Burada; BEAF Sulu tarım yapılan bitki ekim alanından elde edilen getiri, SOSYALF sosyal faaliyetler getirisi, QSLMM sulama giderleri, TASZ taşkın zararı, QSALM salınan su maliyeti, KURUTF kuru tarım ile elde edilen geliri ifade etmektedir.

GAMS, fayda fonksiyonunu maksimize etmek ve mümkün olan en büyük faydayı sağlamak için BEAF, SOSYALF ve KURUTF terimlerini büyük, QSLMM, TASZ ve QSALM terimlerini küçük tutmak istemektedir. Ancak bitki ekimi ile elde edilen fayda (BEAF) ile göl hacminin yüksek tutulması ile elde edilen sosyal faaliyetler (turizm, balıkçılık vb..) ile elde edilen fayda (SOSYALF) ve kuru tarım ile elde edilen fayda (KURUTF) ters orantılıdır. Sulu tarım ile elde edilen fayda arttıkça, sulama maliyetleri artmakta ve göl hacmi azaldığından sosyal fayda düşmektedir [10]. Ayrıca kuru tarım faydası da azalmaktadır. Sulu tarım yerine, kuru tarım tercih edildiğinde yani göl hacmi yüksek tutulduğunda sosyal fayda (SOSYALF) ve kuru tarım getirisi artmakta (KURUTF) ancak bu defa sulu tarım getirisi (BEAF) ile yüksek hacimden kaynaklanan su salım maliyetleri (QSALM) artış göstermektedir. Ayrıca çok yüksek maliyetli taşkın hacmi zararı (TASZ) oluşma ihtimali doğmaktadır. İşte GAMS fayda fonksiyonunda bulunan ters orantılı terimler arasındaki dengeyi sağlayarak, sonuç raporunda kullanıcıya optimum işletme koşullarını sağlayacak değerleri vermektedir.

Amaç fonksiyonunda bitki ekim alanı ile elde edilen getiri, her yılbaşında GAMS tarafından belirlenen maksimum ekim alanı ile hektardan elde edilen ve piyasa araştırması yapılarak elde edilen getirinin (milyon TL) çarpılması ile elde edilen yıllık faydanın toplanması ile hesaplanmaktadır.

$$SULU TARIM FAYDASI = \left( \sum_{y=İL K YIL}^{y=SONUNCU YIL} YILLIK BİTKİ EKİM ALANI \right) * BİRİM GETİRİ \quad (1)$$

Turizm, rekreasyon, balıkçılık gibi tarım dışı göl hacminin varlığı ile elde edilen sosyal faaliyet getirisi, Göl derinliği-sosyal fayda getirisi arasındaki ilişki ile elde edilen denklem ile her ay için ayrı olarak tespit edilen faydaların toplanması ile hesaplanmaktadır.

$$SOSYAL FAALİYET FAYDASI = \left( \sum_{y=İL K AY}^{y=SONUNCU AY} AYLIK SOSYAL FAALİYET GETİRİSİ \right) \quad (2)$$

Sulama suyu maliyeti, her ay için tespit edilen sulama suyu hacmi değerinin, her ay için tespit edilen ,derinliğe bağlı sulama suyu maliyeti ile çarpılarak toplanması ile hesaplanmaktadır.

$$SULAMA MALİYETİ = \left( \sum_{y=İL K AY}^{y=SONUNCU AY} SULAMA SUYU HACMİ \right) * BİRİM SULAMA MALİYET \quad (3)$$

Taşkın zararı, taşkın olması halinde her  $hm^3$  taşkın hacminin vereceği zararın toplanması ile hesaplanmaktadır.

$$TAŞKIN ZARARI = \left( \sum_{y=İL K AY}^{y=SONUNCU AY} TAŞKIN HACMİ \right) * BİRİM TAŞKIN ZARARI \quad (4)$$

Salınan su maliyeti, sulama suyu fazlası olması halinde, Beyşehir ilçesinde bulunan kapaklar vasıtası ile salınan her  $hm^3$  su hacmi değeri ile asgari su maliyeti değerinin çarpılarak toplanması ile hesaplanmaktadır. Aylık maksimum tahliye kapasitesi  $526 hm^3$  olarak hesaplanmış olup. Bu değer in üstünde salınması gereken hacim olması durumunda taşkın yaşanacağı varsayılmaktadır.

$$SALINAN SU MALİYETİ = \left( \sum_{y=İL K AY}^{y=SONUNCU AY} SALINAN SU HACMİ \right) * BİRİM SU MALİYETİ \quad (5)$$

Kuru tarım ile elde edilen getiri, her yıl sulu tarım yapılmayan ekim alanlarında kuru tarım yapıldığı varsayılarak elde edilen getirilerin toplanması ile hesaplanmaktadır.

KURU TARIM FAYDASI =

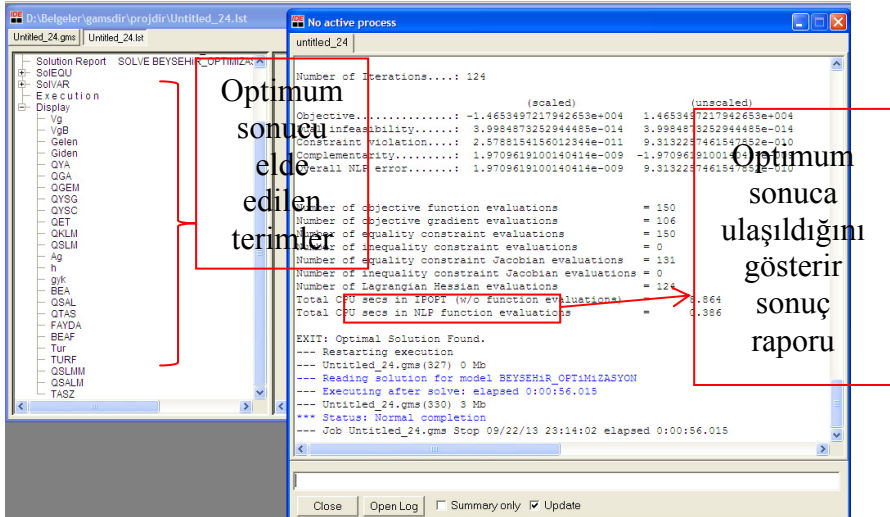
$$\left( \sum_{y=\text{ILK YIL}}^{\text{SONUNCU YIL}} \text{BİTKİ EKİM ALANI ÜST SINIRI} - \text{SULU TARIM ALANI} \right) * \text{BİRİM GETİRİ} (6)$$

### 3. MODEL SONUÇLARININ ANALİZ EDİLMESİ

Beyshehir Gölü içi hazırlanan optimizasyon modeli girdilerde yapılacak değişiklikler ile çok çeşitli senaryolar kullanılarak çözülebilir. Ekim alanı değerinin değiştirilmesi, farklı sıcaklık ve yağış miktarları değerleri kullanılması, sosyal faydaya verilen önemin değiştirilmesi ile farklı senaryolar oluşturularak gölü işleten kurumlar için optimum işletmeyi sağlayabilecek çeşitli sonuçlar elde edilmektedir.

Bu çalışma ile oluşturulan modelin sonuç raporunda (şekil 3.) sunulan ve optimum değerlerini elde ettiğimiz parametrelerden bazıları aşağıda bulunmaktadır;

- VgB: Ortalama aylık göl hacmi
- Ag: Ortalama aylık göl alanı
- h: Ortalama aylık göl su yüksekliği
- QGA: Göl alanı üzerine düşen yağış ile göle giren aylık hacim miktarı
- QGEM: Gembos Derivasyon Kanalı ile göle gelen aylık hacim miktarı
- QYSG,QYSC: Yeraltı suyu ile göle giren ve çıkan aylık su hacim miktarı
- QET: Buharlaştırma ile gölden çıkan aylık hacim.
- QSLM: Sulama için kullanılan aylık hacim.
- BEA: Yıllık bitki ekim alanı
- QSAL: Olması halinde salınan aylık su hacmi
- QTAS: Olması halinde aylık taşkın hacmi
- FAYDA: İşletim sonucu elde edilen kar ya da zarar
- BEAF: Sulu tarım ile elde edilen getiri
- SOSYALF: Sosyal faaliyetler ile elde edilen getiri.
- QSLM: Sulama maliyeti.
- KURUTF: Kuru tarım ile elde edilen getiri.



Şekil 3. Beyshehir Gölü GAMS Modelleme Sonuç Raporu

### 3.1. Mevcut İklimsel Koşullar ile Elde Edilen Modelleme Sonuçları

Mevcut iklimsel koşullar ile yapılan modelleme çalışmasında ilk yıl göl su seviyesi kotu 2006 yılı Ocak ayı su seviyesi kotu değeri olan 1121,74 m, göl başlangıç hacmi bu kota karşılık gelen 3016 hm<sup>3</sup> olarak alınmış, yıl sonu göl hacimleri bir sonraki yıla devrederek, sonraki yılın başlangıç hacmini oluşturmuştur.

Günümüzde Beyşehir Gölü Havzası'nda sulu tarım yapılabilecek arazi maksimum 80000 hektar (hm<sup>2</sup>) civarında olduğundan maksimum bitki ekim alanı 80000 hektar, minimum bitki ekim alanı bu değer %10'u olan 8000 hektar olarak alınmıştır. Yağışlar meteoroloji istasyonundan elde edildiği gibi kullanıldığından herhangi bir katsayı ile çarpılmamıştır. Yüzeysel akış katsayısı 0,144 olarak seçilmiştir. Yüzeysel akış katsayısı TÜBİTAK 109Y271 No'lu proje kapsamında Beyşehir Gölü çevresine yerleştirilen limnigraflardan yararlanılarak ve SCS yöntemi kullanılarak yapılan hesaplamalar ile tespit edilmiştir. Mevcut duruma uygun olarak gölde bulunan hacim ile mümkün olduğunca fazla sulama yapıldığı ve yüksek hacim ile sağlanabilecek sosyal gelirlerin tercih edilmediği kabul edilmiştir. Böylece model kuraklık sınırı olarak kabul ettiğimiz, su derinliğinin 4,2 m olduğu 1118,6 m kotuna inmeden, 80000 hektarlık ekim alanını mümkün olduğunca sulu tarıma ayırmıştır. Buharlaşma değerleri olarak iki farklı veri kullanılmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Bunlardan biri meteoroloji istasyonu tarafından hesaplanan ve hiçbir düzeltme katsayısı ile çarpılmayan tava buharlaşması değerleri, diğeri Penman-Monteith denklem takımları kullanılarak hesaplanan buharlaşma değerleridir. Tavadaki buharlaşma miktarı ile büyük bir su kütleindeki (Bir hazne, bir göl, bir baraj vb.) buharlaşma miktarı birbiri ile aynı olamayacağı, tavadaki suyun hava sıcaklığındaki değişimlerden daha çabuk etkilenmesi, çevrenin az nemli olması, tavanın ısı yansımaları gibi faktörler var olduğundan, tava ölçüm değerlerinin kararlı olması için tava katsayısı değeri ile çarpılmasını gerektirmektedir. Meteoroloji istasyonunca yapılan ölçümlerde buharlaşma tava katsayısının sabit (0,7) bir değer olduğu kabul edilmektedir. Bu çalışma kapsamında Beyşehir Meteoroloji İstasyonu verileri göz önüne alınarak ve Penman-Monteith denklem takımı kullanılarak yapılan buharlaşma miktarı hesabı sonucu Beyşehir Gölü yüzeyi ve Beyşehir Havzası karasal ortamında tava katsayılarının sabit olmadığı, aylara göre değişim gösterdiği belirlenmiştir [11]. (Şekil 4.) İki yöntem ile hesaplanan buharlaşma değerleri kış aylarında birbirine yaklaşırken, yaz aylarında buharlaşma tava ölçüm değerlerinin yüksek olması ile buharlaşma değerleri arasındaki fark açılmaktadır. Bu nedenle sabit bir katsayı ile çarpılmış tava buharlaşması değerlerine göre Penman-Monteith denklem takımı kullanılarak elde edilen buharlaşma değerlerinin kullanılmasının daha tutarlı sonuçlar vereceği varsayılmıştır.

AY	TAVA KATSAYILARI	
	KARASAL ORTAMDA (Penman-Monteith/DMİ)	GÖL YÜZEYİNDE (Penman/DMİ)
NİSAN	0,74	1,14
MAYIS	0,74	1,05
HAZİRAN	0,58	0,85
TEMMUZ	0,51	0,72
AĞUSTOS	0,47	0,67
EYLÜL	0,50	0,78
EKİM	0,57	1,07
KASIM	0,48	1,27

Şekil 4. 10 Yıllık (1999-2009) Ortalama Aylık Tava Katsayı Değerleri

Mevcut iklim şartları ve kullanım alışkanlıkları göz önüne alınarak ilk olarak 2006-2010 yılları arasındaki 5 yıllık dönem için (60 ay) hesaplama yapılmış, daha sonra mevcut

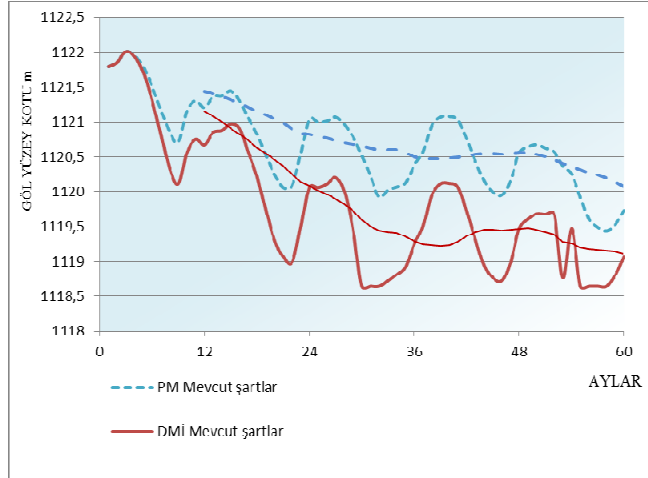
koşulların bir 5 yıl daha devam edeceği öngörülerek hesaplama aralığı 2006-2016 olan 10 yıla (120 ay) çıkarılmıştır. Modelleme sonuçları ile elde edilen göl su seviyesi kotu değişimine ait grafikler Şekil 5. ve Şekil 6.'da bulunmaktadır.

Mevcut iklim şartlarına ve kullanım alışkanlıkları göz önüne alınarak yapılan modelleme sonuçlarına göre elde edilen sonuçlar şunlardır;

Modelleme sonuçlarına göre Beyşehir Gölü su seviyesi kotu ilk yılsonunda düşüşe geçerek 1121 m seviyelerine inmektedir (Göl taban kotu 1114,4 m). Su seviyesindeki düşüş ilk 5 yıllık dönemde devam etmekte ve göl su seviyesi kotu değeri beş yılın ortalarında 1120,5 m seviyelerinde dolaşmaktadır. 5 yıllık dönemin sonlarında göl su seviyesi 1119 m seviyelerine düşmektedir. 10 yıllık hesaplamalarda, ilk 5 yılın ardından su seviyesindeki düşüş eğiliminin azalarak, su seviyesi kotunun 1120 m seviyelerinde daha yatay bir seyir izlediği sonucuna ulaşılmaktadır.

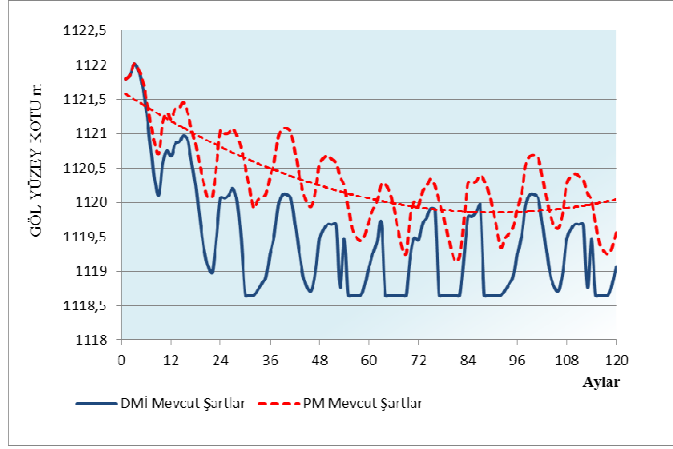
Elde edilen modelleme sonuçlarına göre 80000 hektar sulu tarım arazisinin tamamı sulanabilse de bu durumda göl su seviyesi kotunun 10 yıl sonunda 1122 m seviyelerinden 1120 m seviyelerine düşeceği öngörülmektedir. Bu sonuç göl derinliğinin %25 azalacağı anlamını taşımaktadır.

Hesaplama yapılan tüm aylarda Gembos Derivasyon kanalı ile göle ulaşması hedeflenen aylık ortalama  $10,8 \text{ hm}^3$  lük hacmin tamamına ihtiyaç duyulmuştur. Hesaplama yapılan tüm aylarda gölden sulama ve kullanım suyu hacmi dışında, yapılabilecek salınımına ait hacim değeri 0 (sıfır) olarak hesaplanmıştır.



**Şekil 5.** Mevcut iklimsel şartlar altında 5 yıllık dönemde Beyşehir Gölü su seviyesi kotu değişimi





Şekil 6. Mevcut iklimsel şartlar altında 10 yıllık dönemde Beyşehir Gölü su seviyesi kotu değişimi

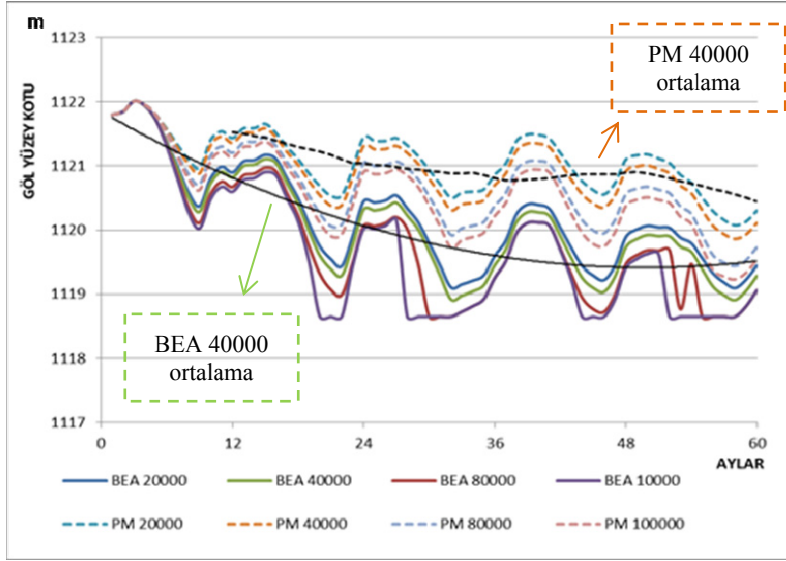
(PM: Penman-Monteith Denklem takımı kullanılarak elde edilen sonuçlar.)

(DMI: Devlet meteoroloji istasyonu buharlaşma tavaşı verileri kullanılarak elde edilen sonuçlar)

Bu çalışma ile elde edilebilecek en önemli sonuçlardan birisi sulmuş tarım alanlarında değişim olması durumunda göl su seviyesindeki değişimin ne olacağıdır.

Bitki ekim alanı üst sınırı modelleme başlangıcında kullanıcı tarafından belirlenmektedir. Model minimum su seviyesinin altına inmeden tüm ekim alanını sulamaya yönelik işlem yapmaktadır.

Bitki su ihtiyacı değerleri, buharlaşma miktarı ile orantılı olarak değişiklik göstermektedir. Model, ilk olarak meteoroloji istasyonu buharlaşma verilerine göre elde edilen bitki su ihtiyacı değerlerine göre, daha sonra ise Penman-Monteith denklemi ile elde edilen buharlaşma değerleri ile hesaplanan bitki su ihtiyacı değerlerine göre çalıştırılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Mevcut durumda bitki ekim alanı miktarı ortalama 80000 ha'dır. Tüm değişkenler sabit tutularak bitki ekim alanının 20000, 40000, 80000 ve 100000 ha olarak değiştirilmesi halinde 60 ay sonunda model tarafından hesaplanan göl yüzey kotu değişimleri Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Farklı bitki ekim alanlarında elde edilen modelleme sonuçlarına göre göl su yüzeyi kotu-sulan alan ilişkisi

(PM: Penman-Monteith Denklem takımı kullanılarak elde edilen sonuçlar.)

(BEA: Devlet meteoroloji istasyonu buharlaşma tavaşı verileri kullanılarak elde edilen sonuçlar)

Yağışların mevsim normallerinde yaşanacağı varsayılarak farklı bitki ekim alanları seçilerek elde edilen modelleme sonuçları şunlardır;

Beşşehir meteoroloji istasyonu buharlaşma tavaşı verilerine göre buharlaşma miktarı, Penman-Monteith modeli ile hesaplanan buharlaşma miktarından fazla olmaktadır. Bu durum bitki su ihtiyacını ve dolayısı ile model sonucu hesaplanan optimum göl yüzeyi su kotunu değerini değiştirmektedir. Meteoroloji istasyonu verilerine göre, bitki ekim alanı 100000 ha seçildiğinde su seviyesi minimum su yüzeyi kotu olarak kabul ettiğimiz 1118,6 m seviyesine düşmekte iken, Penman Monteith denklemi buharlaşma değerleri ile elde edilen bitki su ihtiyacı verilerine göre göl su yüzeyi kotunun en düşük değeri 1119,2 m olmaktadır.

Model sonuçlarına göre 20000 ha - 80000 ha bitki ekim alanı aralığında, ilk yıl su seviyesi ani olarak düşmekte daha sonraki yıllar düşüş eğilimi azalarak, göl su yüzeyi kotu yatay bir seyir izlemektedir.

Ekim alanı değerinin 20000 ha olduğu durumda dahi göl su seviyesi, maksimum su yüzeyi kotu değeri olan 1126 m'ye (5979 hm<sup>3</sup>) ulaşamamış ve ihtiyaç fazlası su salınım değerleri, tüm aylarda 0 (sıfır) olarak hesaplanmıştır. Tüm ekim alanı değerlerinde Gembos Derivasyon Tüneli'nden transfer olacağı varsayılan yıllık maksimum 129,6 hm<sup>3</sup> su hacmine ihtiyaç duyulmuştur.

Meteoroloji istasyonu buharlaşma verilerine göre yapılan modelleme sonuçlarına göre minimum su seviyesi kotu olan 1118,6 m'ye ulaşılmadan sulanabilen bitki ekim alanı maksimum 100000 ha olarak tespit edilirken, Penman-Monteith denklemine göre bu değer 160000 ha olarak hesaplanmıştır. Meteoroloji istasyonu buharlaşma verilerine göre modelleme sonuçlarına göre bitki ekim alanının 100000 ha'ı geçmesi durumunda göl su seviyesi bazı aylarda minimum işletme kotu değeri olan 1118,6 m'nin altına düşmekte ve kuraklık riski oluşmaktadır. Buna göre modelleme sonuçlarına göre Beşşehir Gölü kapasitesi ile 100000 ha üstü bitki ekim alanı sulanması mümkün olmamaktadır.

Sulanacak bitki ekim alanının 80000 ha'ı geçtiği durumda, bitki ekim alanı sulanabilse de uzun vadede göl su seviyesinde düşüş olacağı sonucuna ulaşılmaktadır. Tam verimli sulama teknikleri kullanılarak, göl su seviyesinin mevcut hali ile yüksek oranda korunabileceği maksimum ekim alanı 40000 ha olarak öngörülmektedir.

### **3.2. 2013 Yılı İklim Değişikliği Senaryolarının Model Sonuçları ile Yorumlanması**

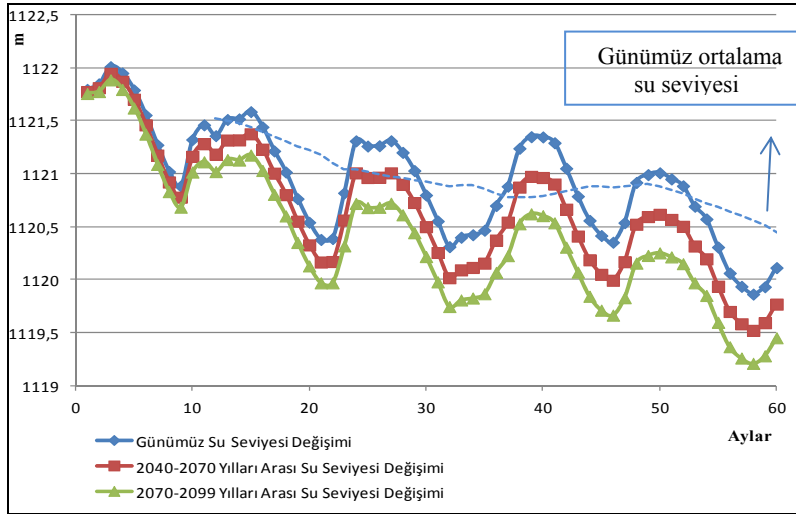
İklim değişikliği senaryoları 1990 yılından günümüze kadar belirli aralıklar ile Dünya meteoroloji örgütü (WMO) ve Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) tarafından kurulan IPCC (Hükümetler arası iklim değişikliği paneli) tarafından yayımlanmaktadır. Bugüne kadar 5 iklim raporu yayımlanmış olup, son rapor 2013 yılındaki 5. İklim Değişikliği Değerlendirme Raporu'dur [12].

Bu modelleme çalışması kapsamında yapılan çalışmalardan biri Beyşehir Gölü optimum işletme koşullarının, IPCC tarafından yayımlanan 5. iklim değerlendirme raporuna göre nasıl değişeceği.

İPCC İklim değişikliği senaryolarına göre, 2013–2099 yılları arası göz önüne alındığında yüz yılın ilk ve ikinci çeyreğinde Beyşehir Gölü Havzası ortalama sıcaklık değerlerinin 1,5–2 C° artacağı, yağış yüksekliği miktarının ise 0,5 – 0,75 mm/gün (%10-%20) azalacağı öngörülmektedir. Yüzyılın son çeyreğinde ise iklim şartlarının daha da sertleşerek sıcaklık artışının 3,5–4,5 C°'ye ulaşacağı, yağışların ise 0,75–1 mm/gün (%20-%30) azalacağı öngörülmektedir.

Ortalama sıcaklık değerlerinde oluşacak artış, buharlaşma miktarını ve dolayısı ile bitki su ihtiyacını arttırmaktadır. Göl bütçesinde oluşacak bu açığı kapatması gereken ve göl su bütçesine en büyük girdi olarak kabul edilen yağışların da azalması ile Beyşehir Gölü işletme koşullarında değişiklikler olacağı ve sulu tarım yapılabilecek alanda düşüşler olacağı öngörülmektedir.

Modelleme sonuçlarına göre, sulu tarım yapılan 80000 hektar tarım arazisinin mevcut şartları ile devam etmesi halinde Beyşehir Gölü su yüzeyi kotu 1121,5 m seviyelerinden, yüzyıl ortalarında ve son çeyreğin başında (2040-2070) 1120 m seviyelerine inecektir. Sulu tarım arazisi alanının değişmemesi ve sulama suyu çekimine devam edilmesi halinde yüzyılın son çeyreğinde (2070-2099) göl su seviyesi 1119 m seviyelerine düşecektir. Göl su seviyesi, her durumda maksimum göl su seviyesi kotu olan 1126 m' den çok daha aşağıda kalmakta ve maksimum doluluk seviyesi ile olan farkın her geçen yıl artacağı ön görülmektedir. Modelleme sonuçlarına göre 80000 hektar sulu tarım alanının mevcut şartlar ile sulanmasına devam edilmesi halinde, yüzyılın son çeyreğinde göl su seviyesi kotu bazı aylarda, altına inilmesi halinde gölde kuraklık olacağı kabul edilen minimum işletme kotu olan 1118,4 m seviyesine düşmektedir. (Şekil 8)



Şekil 8. İklim değişikliği senaryolarına göre 80 000 hektar alanda sulu tarım yapılması durumunda Beyşehir Gölü su yüzey kotu değişimi

Beyşehir Gölü ile sulaması yapılan sulu tarım arazisinin 40000 hektara düşürülmesi halinde, göl su seviyesi kotu daha yatay bir seyir izlemektedir. Günümüz koşulları ile 40000 hektar sulu tarım arazisinin sulanması halinde göl su seviyesi kotu 1120,5-1121,5 m seviyeleri arasında kalmaktadır. İklim değişikliği senaryolarına göre aynı tarım arazisi miktarı göz önüne alınarak yapılan modelleme sonuçlarına göre yüzyılın ortasında ve son çeyreğinin başında göl su seviyesi kotu 1120-1121 m seviyelerine düşmektedir. Yüzyılın son çeyreğinde düşüş devam ederek 1119,5-1120,5 m seviyelerine inmektedir. Sulu tarım yapılan arazinin 40000 hektar seviyesinde tutulması durumunda iklim değişikliği senaryolarına ve modelleme sonuçlarına göre göl su seviyesi kotu minimum işletme seviyesine inmemektedir.

#### 4. SONUÇ VE TARTIŞMA

Çalışma sonucunda elde edilen veriler aşağıdaki gibi özetlenmiştir;

1. Beyşehir Gölü'nden sulu tarım amacı ile çekilen yüksek sulama suyu hacmi, göl su bütçesine büyük yük getirmekte, göl hacminde devamlı olarak azalma olmasına neden olmaktadır.

2. Model sonuçlarına göre mevcut kullanım alışkanlıklarının devam etmesi halinde, göl su seviyesinde düşüş yaşanarak, ortalama göl su seviyesi kotu 1122 m 'den ortalama 1120,5 m seviyelerine inecek ve 1120 m seviyesinde yatay bir seyir izleyecektir.

3. Göl ile sulaması yapılan sulu tarım alanının 80000 hektardan 40000 hektara düşürülmesi halinde göl su seviyesinde hesaplanan düşüş miktarı ortalama 0,5 m seviyesinde kalmaktadır. Bu sonuca göre sulu tarım yapılan arazinin sınırlandırılması Beyşehir Gölü'nün varlığını sürdürebilmesi açısından önem arz etmektedir.

4. Model sonuçlarına göre Gemboş Derivasyon Kanalı ile göle aktarılan su hacmine devamlı olarak ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durum Gemboş Projesi'nin Beyşehir Gölü ve havzası için başarılı olarak kabul edilebileceğini göstermektedir.

5. Model sonuçlarına göre Beyşehir Gölü ile sulama yapılan sulu tarım alanının 80000 hektarı geçerek 100000 hektara yaklaşması halinde, orta vadede göl su seviyesi kuraklık sınırı olarak kabul edilen 1118,4 m seviyesine düşmektedir.

6. Modelleme sonuçlarına göre yağış değerlerinin mevsim normallerinin 2,4 katı alınması halinde taşkın hacmi oluşmakta, yağış değerlerinin %40 azalması halinde ise göl su seviyesi kuraklık sınırına yaklaşmaktadır.

7. Devlet meteoroloji istasyonu tarafından yapılan buharlaşma tavaşı ölçümleri ile Penman-Monteith denklem takımları ile hesaplanan buharlaşma değerleri arasındaki fark kış aylarında azalırken yaz aylarında artış göstermekte, tava katsayısı her ay için farklı değerlere sahip olmaktadır.

8. İklim değişikliği senaryolarına göre mevcut kullanım alışkanlıklarının devam etmesi halinde Beyşehir Gölü su yüzeyi kotu günümüze göre yaklaşık 2,5 m azalarak, 2040-2070 yılları arasında 1120-1119,5 m aralığında, 2070-2099 yılları arasında ise yaklaşık 3 m azalarak 1119,5-1120 m aralığında seyredecektir.

#### Acknowledgments / Teşekkür

Bu proje TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir. Desteklerinden ötürü 109Y271 no'lu proje ekibine ve sağlanmış olduğu maddi destekten ötürü TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

#### REFERENCES / KAYNAKLAR

- [1] Bilim ve Teknik Dergisi (2008). Su Fakirliği, Sayı 489.
- [2] Doğan, A., Başayığıt, L., Soyaslan, İ., Nas, B. (2013), Göl-Yeraltısuyu-İklim İlişkisinin Yeraltısuyu Akım Modeli ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Yardımıyla Belirlenerek Gölün Optimum Dinamik İşletme Modelinin Oluşturulması: Beyşehir Gölü Modeli Sonuç Raporu, İstanbul.
- [3] Kantorovich, L.V. (1939), "Mathematical methods of organizing and planning production" (Russian, English translation appeared in Management Science 6 (1960) 366-422).
- [4] Şanlı, A.S. (2014), Beyşehir Gölünden Su Kullanımının İklim Verilerine Bağlı Optimizasyonu Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Hidrolik Anabilim Dalı, İstanbul.
- [5] Amit, K. Sinha, B. V. Rao and C. H. Bischof. (1999), Nonlinear optimization model for screening multipurpose reservoir system, Journal of water resources planning and management, 125 (4): 229-233.
- [6] Atilla, A.Ö., (2002). "Afyon Ovası Yeraltısuyu Akım Modeli", Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 26 (2), 17-30.
- [7] Gümüş, E. (2013), Göl-Yeraltı suyu Etkileşimi; Beyşehir Gölü Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta.
- [8] Gass, S.I. (2000), "Making Decisions with Precision", Business Week Ekim 30, ([http://www.businessweek.com/archives/2000/b3705139.arc.htm?campaign\\_id=search#B3705139](http://www.businessweek.com/archives/2000/b3705139.arc.htm?campaign_id=search#B3705139)), 01.02.2006.
- [9] Çetin, E. (2004), Stokastik Programlama Yöntemiyle Bir Portföy Optimizasyonu Modelinin Geliştirilmesi, Yayımlanmamış Doktora Tezi, İstanbul, İ.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sayısal Yöntemler Bilim Dalı, İstanbul.
- [10] Kracman, D.R. A.B. (2002), "Stochastic Optimization of the Highland Lakes System in Texas", The University of Texas, Austin, ABD.
- [11] Doğan, A., Şanlı, A.S. (2012), "Beyşehir Gölü Havzasında, Penman-Monteith, Blaney Criddle, Penman ve Tava Buharlaşması Yöntemleriyle Hesaplanan Buharlaşma Değerlerinin Karşılaştırılması", İnşaat Mühendisliği'nde 100.Yıl Teknik Kongresi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [12] IPCC, (2013), Climate Change 2013, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, New York, NY, ABD.