SELEVİR BARAJININ SU KULLANIMININ OPTİMİZASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmed Celil ÖZAYDIN

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Murat KİLİT

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TEMMUZ 2021

Bu tez çalışması 16.ARŞ MER.08 numaralı proje ile BAPK tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SELEVİR BARAJININ SU KULLANIMININ OPTİMİZASYONU

Ahmed Celil ÖZAYDIN

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Murat KİLİT

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TEMMUZ 2021

TEZ ONAY SAYFASI

Ahmed Celil ÖZAYDIN tarafından hazırlanan "Selevir Barajının Su Kullanımının Optimizasyonu" adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 13/07/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ / DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman **:** Dr. Öğr. Üyesi Murat KİLİT

		İmza
Başkan	**:** Prof. Dr. Yılmaz İÇAĞA Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	…….....
Üye	**:** Doç. Dr. Kemal SAPLIOĞLU Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	…….....
Üye	**:** Dr. Öğr. Üyesi Murat KİLİT Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	…….....

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

...../...../..... tarih ve

……. sayılı kararıyla onaylanmıştır.

…….

Prof. Dr. İbrahim EROL

Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

10/07/2021

Ahmed Celil ÖZAYDIN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SELEVİR BARAJININ SU KULLANIMININ OPTİMİZASYONU

Ahmed Celil ÖZAYDIN
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Murat KİLİT

Dünya üzerindeki temiz su kaynaklarının giderek azalmasının aksine temiz su ihtiyacı ve gıda talebi de artış göstermiştir. Mevcut su potansiyelinin en etkin bir biçimde depolanması, depolanan suyun en etkin şekilde kullanılması ve paralel olarak tarımsal verimin de arttırılması elzem hale gelmiştir. Su zengini sayılamayan ülkemiz için de sürdürülebilir bir yöntemlerin geliştirilmesi büyük önem arz etmektedir.

Bu çalışmada da Afyonkarahisar İlinin depolama hacmince en büyük barajı olan Selevir Barajının iklim verilerine bağlı olarak optimum işletme modeli oluşturulması hedeflenmiştir.

Optimizasyon GAMS (The General Algebraic Modeling System) paket programı ile oluşturulmuştur.

2021, ix + 70 sayfa

Anahtar Kelimeler: Optimizasyon, Selevir Barajı, GAMS, Modelleme

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

OPTİMİZATİON OF SELEVİR DAM'S WATER USAGE

Ahmed Celil ÖZAYDIN

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Murat KİLİT

In contrast to the gradual decrease in clean water resources in the world, the need for clean water and food demand have also increased. It has become essential to store the existing water potential in the most efficient way, to use the stored water in the most efficient way and to increase the agricultural efficiency in parallel. The development of the sustainable methods for Turkey, that is not water rich is of great importance.

In this study, it is aimed to create an optimum operating model based on the climate data of Selevir Dam, which is the largest dam in Afyonkarahisar Province in terms of storage volume.

Optimization was created with the GAMS (The General Algebraic Modeling System) package program.

2021, ix + 70 pages

Keywords: Optimization, Selevir Dam, GAMS, Modeling

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, modelleme süreci, modelleme sonuçlarının değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından ve özellikle pandemi sürecindeki desteklerinden dolayı tez danışmanım Sayın Dr. Öğr. Ü. Murat KİLİT'e, model geliştirme ve senaryolaştırma süresince yardımlarını esirgemeyen Ahmet Sancak ŞANLI'ya, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim. Afyon Kocatepe Üniversitesi Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezine teşekkür ederim. Ayrıca 16.ARŞ MER.08 numaralı "Sulama Amaçlı Yapılan Barajın Optimum Tasarımı ve Hidroelektrik Enerjisinin Araştırılması" isimli proje ile yazılım imkânı sağlayarak bu tezin gerçekleşmesinde önemli katkı sağlayan Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine teşekkürlerimi sunarım.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Ahmed Celil ÖZAYDIN

Afyonkarahisar, 2021

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET i
TEŞEKKÜR iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ vi
ŞEKİLLER DİZİNİ viii
ÇİZELGELER DİZİNİ ix
1. GİRİŞ 1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ 3
3. MATERYAL ve METOT 7
3.1 Materyal 7
3.1.1 Çalışma Alanının Yeri 7
3.2 Su ve Toprak Kaynakları 8
3.2.1 İklim 8
3.2.2 Meteoroloji İstasyonları (Mİ) 9
3.2.3 Yağışlar 9
3.2.4 Sıcaklıklar 9
3.2.5 Buharlaşma 9
3.2.6 Baraj Membasındaki İşletme ve İnşaat Aşamasındaki Göletler 10
3.2.7 Rehabilitasyon Projesi 10
3.3 Optimizasyon 11
3.3.1 Optimizasyon Modellerinin Oluşturulması 11
3.3.2 Doğrusal Olmayan Programlama Modelleri 13
3.3.3 Optimizasyon Problemlerinin Doğrusal Olmayan Programlama ile Çözümü 13
3.4 GAMS (The General Algebraic Modeling System) Paket Programı 14
3.4.1 İndislerin Tanımlanması 16
3.4.2 Sabit Verilerin Tanımlanması 16
3.4.3 Değişkenlerin Tanımlanması 18
3.4.4 Denklem ve Varsa Kısıt Fonksiyonlarının Tanımlanması 18
3.4.5 Dahil Edilmek İstenen Kısıt ve Denklerin Oluşturulması 19
3.4.6 Çözüm Yöntemi Tercihi 20
3.4.7 Sonuç Değerlendirmesi 21

4. BULGULAR 23
4.1 Model Oluşturulması 23
4.2 İndislerin Tanımlanması 24
4.3 Girdilerin Tanımlanması 24
4.3.1 Yağış Miktarlarının Elde Edilmesi 25
4.3.2 Buharlaşma Yüksekliğinin Tespiti 26
4.3.3 Bitki Su İhtiyacının Hesaplanması 34
4.4 Sabit Verilerin Belirlenmesi 37
4.4.1 Yüzeysel Akış Katsayısının Hesaplanması 38
4.5 Değişkenlerin Tanımlanması 40
4.6 Denklemler ve Kısıtların tanımlanması 41
5. MODEL SONUÇLARININ ANALİZİ 49
5.1 Mevcut İklim Koşullarına Göre Oluşturulan Modelleme Sonuçları 49
5.2 Farklı Senaryolar İçin Model Çıktıları 52
5.2.1 Farklı Bitki Ekim Alanları Seçilmesi Durumundaki Değişim 53
5.2.2 Farklı Yağış Durumlarında Değişim 54
5.2.3 İklim Değişikliği Projeksiyonlarına Göre Değişim 55
5.3 Fayda Denkleminin Mantığı ve Hassasiyeti 59
5.3.1 Getirideki Değişimlerin Optimizasyon Koşullarına Etkisi 60
6. TARTIŞMA ve SONUÇ 62
7. KAYNAKLAR 64
ÖZGEÇMİŞ 70

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

R_{so}	Açık havadaki güneş radyasyonu
F_a	Akış başladıktan sonra toprakta tutulan su miktarı
La	Akışın başlamasından önceki kayıpların tümü
α	Albedo Sabiti
R_A	Angot güneş radyasyonu değeri
P	Atmosfer basıncı
R_s	Atmosfer dışındaki güneş radyasyonu
R_a	Atmosfer dışındaki radyasyon
r_a	Atmosfer sınır tabakası içine su buharı yayılmasına karşı hava dinamiği direnci
r_l	Aydınlık ortamda stomatal direnç
V	Birim zamanda geçen akım hacmi
k_c	Bitki faktörü
ET	Buharlaşma miktarı
Q	Debi
Z	Deniz seviyesine göre yükseklik
Δ	Doymuş buhar basıncı sıcaklık eğrisinin
ϕ	Enlem
a_s	Geri dönüş sabiti
w_s	Gündoğumu saatine bağlı açı değeri
p	Gündüz saatlerinin gün içerisindeki oranı
LAI	Güneş gören yaprak alan ideksin Günlük güneşlenme süresi
G_{sc}	Güneşlenme sabiti
D	Günlük maksimum güneşlenme süresi
N	Günlük maksimum güneşlenme süresi
T_{max}	Günlük maksimum hava sıcaklığı
T_{min}	Günlük minimum hava sıcaklığı
e_s	Günlük ortalama sıcaklıkta doymuş buhar basıncı
ET_0	Günlük potansiyel buharlaşma miktarı
J	Günün yıl içerisindeki sıra sayısı
e_a	Havanın ortalama gerçek buhar basıncı
ρ_a	Havanın yoğunluğu
ha	Hektar
Z_{oh}	Isı ve buharlaÇmaya etki eden pürüzlük uzunluğu
Z_{om}	Momentum transferine etki eden pürüzlük uzunluğu
Z_h	Nem ölçüm yüksekliği
R_{ns}	Net güneş radyasyonu
R_n	Net radyasyon
R_{nl}	Net uzundalga radyasyonu
T	Ortalama hava sıcaklığı
T_{ort}	Ortalama sıcaklık
e_0	Ortalama sıcaklıkta doymuş buhar basıncı değeri
S	Potansiyel en fazla su tutulma miktarı
γ	Psikrometrik sabit

Simgeler (Devam)

f(u)	Rüzgâr hızına bağlı fonksiyon değeri
Z_m	Rüzgâr ölçüm yüksekliği
C_p	Sabit basınçtaki nemli havanın özgül ısısı
d	Sıfır düzleme göre yükseklik değişimi
δ	Solar kırılma
σ	Stefan-Boltzman Sabiti
r_s	Su buhar transferine karşı yüzey direnç
ε	Su buharı kuru hava molekül ağırlıkları
H	Su derinliği
T_w	Su sıcaklığı
λ	Suyun buharlaşma ısısı
G	Toprak ısı akımı yoğunluğu
k	Von Karman sabiti
P	Yağış
P_e	Yağış fazlası
R_c	Yer yüzüne ulaşan radyasyon
G	Yerçekimi ivmesi
U_z	Z yüksekliğindeki rüzgâr hızı

Kısaltmalar

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
DMİ	Devlet Meteoroloji İşleri
DSİ	Devlet Su İşleri
EARTHWATCH	Dünya Gözlemcisi Programı
FAO	Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Organizasyonu
GALP	Genetik Algoritma ve Doğrusal Programlama
GAMS	The General Algebraic Modeling System
GEMS	Küresel Çevre Gözlem Sistemi
GRID	Küresel İletişim Sistemi
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IPOPT	Interior Point Optimizer
Mİ	Meteoroloji İstasyonu
NLP	Doğrusal Olmayan Programlama
OMGİ	Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonu
UNEP	Birleşmiş Milletler Çevre Programı
USGS	United States Geological Survey

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1 Çalışma alanı bulduru haritası 7
Şekil 3.2 Aktif kısıt kümesi çözüm algoritması 13
Şekil 3.3 GAMS program açılış sayfası 15
Şekil 3.4 Table komutu ile yapılan veri tanımlaması 16
Şekil 3.5 GAMS sonuç raporu ve süreç ekranı 21
Şekil 4.1 Optimizasyon modeli girdileri 23
Şekil 4.2 Aylık ortalama yağış miktarları 24
Şekil 4.3 Buharlaşma ve su döngüsü 25
Şekil 4.4 Yağışların akışa geçmesine etki eden faktörler 37
Şekil 4.5 Selevir barajı yağış havzası 38
Şekil 4.6 Selevir baraj gölü derinlik alan ilişkisi 45
Şekil 4.7 Selevir baraj gölü derinlik hacim ilişkisi 45
Şekil 5.1 Selevir barajı modelleme sonuç raporu 48
Şekil 5.2 Mevcut iklim koşulları altında Selevir baraj gölü su seviye kotu değişimi 50
Şekil 5.3 Mevcut iklim koşulları altında Selevir baraj gölü hacim değişimi 50
Şekil 5.4 Mevcut iklim koşulları altında bitki ekim alanı dağılımı 51
Şekil 5.5 Farklı bitki ekim alanlarında yapılan modellemeye göre su yüzey kotu değişimi 52
Şekil 5.6 Farklı bitki ekim alanlarında yapılan modellemeye göre göl hacmi değişimi .52
Şekil 5.7 Göl yüzey kotunun yağış miktarlarına göre değişimi 54
Şekil 5.8 İklim projeksiyonlarına göre buharlaşma miktarlarındaki değişim 57
Şekil 5.9 İklim Projeksiyonlarına göre modelleme sonucu göl su yüzey kotu değişimi 58

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 4.1 Selevir baraj gölü aylık buharlaşma değerleri……...33
Çizelge 4.2 Enleme göre gündüz saatlerinin gün içerisindeki oranları ……34
Çizelge 4.3 Yonca bitkisine ait aylık su ihtiyacı değerleri……35
Çizelge 4.4 Pancar bitkisine ait aylık su ihtiyacı değerleri……...35
Çizelge 4.5 Mısır bitkisine ait aylık su ihtiyacı değerleri……..36
Çizelge 4.6 Havza özelliklerine göre yüzeysel akış katsayısı değerleri……38
Çizelge 5.1 Model için seçilmiş ürünler ve getirileri tablosu……60
Çizelge 5.2 Ekim alanlarına göre hasat getirileri 60

1. GİRİŞ

Dünya üzerindeki toplam su hacmi 1,4 milyar km³ olup dünyanın %75'ini kaplamaktadır. Ancak bu miktarın tamamı insanlık tarafından kullanılamamaktadır. Çünkü bu miktarın %97,5'i denizlerdeki ve okyanuslardaki tuzlu su iken, sadece %2,5'lik kısmı tatlıdır. Tatlı suyun büyük kısmı ise (%69,5) kutup buzulu şeklinde ya da donmuş toprak tabakasında bulunmaktadır. Kalan miktarın yaklaşık %30,1'i yeraltı suyu şeklindeyken, %0,4'lük kısmı ise yüzey ve atmosfer suları olarak tatlı su gölleri, yüzeysel sular, sulak alanlar, atmosfer, toprak ve canlılardadır (Alpaslan vd. 2008).

Kullanılabilir suyun dağılımı ise Dünya ortalaması %8 evsel kullanım, %22 sanayi suyu ve %70 tarımsal kullanım iken bu dağılım yüksek gelirli ülkelerde %11 evsel kullanım, %59 sanayi suyu ve %30 tarımsal kullanım şeklinde, düşük gelirli ülkelerde ise %15 evsel kullanım, %11 sanayi suyu ve %74 tarımsal kullanım şeklindedir (Gleick vd. 2011).

Halihazırda zaten çok çok azını kullanabildiğimiz temiz su kaynaklarının giderek azalmasının aksine temiz su ihtiyacı ve gıda talebi de artış göstermiştir. Kişi başı su potansiyeli yıllık 1.700 m³'den az olan ülkeler "su fakiri", 1.000 m³'den az olan ülkeler de "su kıtlığı" olan ülkeler şeklinde tanımlanmıştır (Falkenmark vd. 1989).

Ülkemizde yıllık ortalama yağış miktarı yaklaşık 574 mm olup, ortalama 450 milyar m³ suya karşılık gelmektedir. Günümüz teknik ve ekonomik koşullarında, tüketilebilecek yerüstü suyu miktarı yılda ortalama toplam 94 milyar m³ olup, 18 milyar m³ olarak belirlenen yeraltı suyu ile birlikte ülkemizin tüketilebilir yerüstü ve yeraltı su potansiyeli yılda ortalama toplam 112 milyar m³ olup, 57 milyar m³'ü kullanılabilmektedir. Kişi başı kullanılabilir yıllık su miktarı 2000 yılında 1.652 m³, 2009 yılında 1.544 m³, 2020 yılında ise 1.346 m³ olmuştur (DSİ 2020).

TÜİK 2013-2075 projeksiyonlarına göre nüfusumuzun 2050'li yıllarda pik yapacağı ve yaklaşık 94 milyon kişi olacağı tahminine göre bu rakam 1.128 m³ olacaktır. Buna göre ülkemiz de su fakiri sayıldığından ve su kıtlığına doğru gittiğinden bu durum çok daha büyük önem arz etmektedir.

Mevcut su potansiyelinin en etkin bir biçimde depolanması, depolanan suyun en etkin şekilde kullanılması ve paralel olarak tarımsal verimin de arttırılması elzem hale gelmiştir. Kuru tarımdan sulu tarıma geçiş evresinin yaşandığı günümüzde optimizasyon modellerine bağlı bir politika belirlemek bu çabalara bir sağlam bir zemin hazırlayacaktır.

Bu çalışmada Afyonkarahisar İlinin su biriktirme kapasitesi açısından en büyük barajı olan Selevir Barajı su kullanımının optimizasyonu amacıyla matematiksel model oluşturulması ve bu sayede hem su kullanımının en iyi hale getirilmesi ve bunun yanında da çiftçilik gelirinin azami seviyelere getirilebilmesi hedeflenmiştir. Oluşturulacak matematiksel model su kullanımının takip edilmesi, barajdan sulanan alanda en verimli sulu tarımın yapılabilmesi için ve azami gelir sağlanabilmesi için rehber olacağı düşünülmektedir. Çalışma The General Algebraic Modeling System (GAMS) paket programı ile yapılacaktır. Özetle;

1. Baraj sulamasının mevcut durumu ile modelleme tamamlanacaktır.
2. İlkim değişiklikleri senaryolarına göre su bütçesinin değişimi hesaplanacaktır.
3. Bitki desenine karar verilerek azami kazanç elde edilmeye çalışılacaktır.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

İnsanların ilk çağlardan bu yana karşılaştıkları problemleri aşma, tabiata hâkim olma, daha müreffeh yaşama hedefi, soyut veya somut bir model üzerinde deneyler yapma ihtiyacı doğurmuştur.

Dik İniş adıyla da bilinen ilk optimizasyon tekniği tarihi Gauss'a dek uzanır. Kronolojik olarak ta 1940'larda George Dantzig tarafından ortaya konulan lineer programlama teorisi en yaşlı optimizasyon terimidir.

Su kaynakları ile ilgili ilk çalışma olarak ta 1972'de Stockholm'de yapılmış olan Birleşmiş Milletler İnsan ve Çevresi Konferansı'nda "İnsan Çevresi için Harekât Planı" kabul edilmiş, EARTHWATCH (Dünya Gözlemcisi) programı görüşülmüştür. Bu program Küresel Çevre Gözlem Sistemi (GEMS) ve Küresel İletişim Sistemi (GRID) gibi programları kapsamaktadır.

1977'de düzenlenmiş olan Birleşmiş Milletler Su konferansı ile 1986'da Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) tarafından gerçekleştirilen Kaynakları Karalarda Olan Çevre Bakımından Güvenli İç Suların Yönetimi (EMINWA) programlarında da farklı ülkelerin su politikalarının çevreyle bütünleştirilmesi esas kabul edilmiştir.

1992 yılında Dublin Prensipleri olarak;

• Yaşam, ekolojik ve ekonomik gelişim için elzem olan kaynakları sınırlı ve etkilere açık kaynaklardır.
• Su kaynaklarının geliştirilmesi ve yönetiminde her kademeden politika yapıcılar, planlamacılar ve kullanıcılar, katılımcı bir şekilde yer almalıdır.
• Su, rakip kullanıcılar arasında ekonomik bir değere sahiptir ve bu şekilde göz önüne alınmalıdır.
• Su kaynaklarının geliştirilmesinde ve yönetiminde bütüncül yaklaşım göz önüne alınmalıdır.
• Su kalitesi, talep ve arz birlikte değerlendirilmelidir.

• Su kalitesi ve su ekosistemleri mutlaka korunması gereken unsurlardır.
• Su kaynaklarının kullanılmasında ve yönetiminde sürdürülebilirlik yaklaşımı esas alınmalıdır.
ilkeleri kabul edilmiştir.

Süğücük (1990), tarım sektöründeki risk ve belirsizliklerin fazla olması sebebiyle planlama çalışmalarını güçlüğünün arttığından bahsetmiştir.

Hajilal vd. (1998), Hindistan'da 15'er günlük periyotlarda gerçek zamanlı sulama amaçlı rezervuardan çekilen su miktarını optimize etmişlerdir.

Sinha vd. (1999), çok amaçlı hazneli sistem takibinde doğrusal olmayan optimizasyon ile değişik kriterleri dikkate alarak optimum aktif kapasiteyi belirlemişlerdir.

Değirmenci (2000), Harran ovası özelinde ilkim verilene bağlı olarak doğrusal programlama modeli oluşturarak 4 farklı plan hazırlamış ve bitki ekim alanı, bitki deseni yoğunluğu ve gelirde ne gibi değişmeler olduğunu karşılaştırmalı olarak ortaya koymuştur.

Işık (2001), su talebinin olmadığı aylarda hazneye giren suyun büyüklüğü ve su talebinin olduğu aylarda ise hazneye giren suyun, su talebinden oldukça düşük olması nedeniyle hazne işletme çalışmasının önemli olduğundan bahisle modellemenin önemine vurgu yapmıştır.

Hugo (2002), ABD - Kuzey Kaliforniya'da rezervuarın iklimsel ve hidrolojik değişkenlerine göre doğrusal programlama ile optimum kapasiteyi ve sonuçların optimum değerlerini hesaplamışlardır.

Demir (2005), farklı büyüklükteki sulu tarım işletmelerinde farklı yaşam standartlarında sulama yapmanın yatırım büyüklüğü, yenileme ve işletme/bakım giderlerini ödeme güçleri; cazibeli ve basınçlı sulama yöntemleriyle, yeterli ve kısıtlı sulama koşullarında, optimum bitki desenlerini doğrusal programlama yöntemiyle belirlemiştir.

Reis vd. (2006), İngiltere'de genetik algoritma ve doğrusal programlama kombinasyonu (GALP) ile işletme kararını dönemler için hesaplamışlardır.
Tuncer Nimetoğlu (2006), bir tarım işletmesinde mevcut su ile daha fazla alanın sulanması, dağıtımının düzenli hale getirilmesi, suyun kısıt olduğu durumlarda, kısıtlı sulama zamanlaması planlarının hazırlanması ve çiftçilerin bu yönde eğitilmesin yararlı olacağını belirtmiştir.

Sert (İnt. Kyn. 1), sistemin uzun süreli optimal işletme politikaları ve elde edilen kısa süreli optimal işletme politikalarının bir araya getirilerek gerçek optimum duruma daha yakın ve kritik durumlarda geçerli olabilecek işletme kuralları belirlenmesi gerektiğini belirtmiştir.

Arslan (2013), Aksu Akarsu Havzası'nda bulunan çok amaçlı ve çok barajlı bir su kaynakları sistemine uzun süreli optimal işletme modeli uygulamıştır. Modelinin çözümünde lineer olmayan programlama ve genetik algoritma kullanılmış, sulama ve içme suyu ihtiyaçları ile can suyu miktarlarını modellere kısıt olarak girerek güvenilir ve toplam enerjinin optimizasyonu üzerine çalışmıştır.

Sancak (2014), GAMS optimizasyon programı ile Beyşehir Gölü optimum işletme modeli oluşturmuş ve iklimsel faktörlere ek olarak göl işletim koşullarına etkisi olan beşerî ve ekonomik faktörlerdeki değişimlerin sonuçlarını analiz etmiştir.

Erdin (2014), depolama tesislerinin optimum boyutlandırılması ve depolanan suyun en uygun şekilde kullanılması gerekliliğinden yola çıkarak iki ayrı metot kullanılarak (Enumeration ve Generalized Reduced Gradient), sulama amaçlı bir barajın rezervuarının optimum bir şekilde işletilmesini sağlayacak boyutlandırmayı ortaya koymuşlardır

Uzunkaya, Gül (2017), Dinar Karakuyu Sulama Projesi kapsamına giren sahadaki tarımsal işletmelerde optimum ürün deseninin doğrusal programlama ile tespit edilmesi amaçlamışlar ve araştırma alanında mevcut ürün deseni optimize edildiğinde, işletmelerin brüt karlarını %22 oranında arttırabileceği tespit etmişlerdir.

Günaçtı (2017), Gediz Havzası'nda geçmişte kaydedilmiş kurak bir yılın meteorolojik

verilerinin, günümüzde tekerrür etmesi halinde karşılaşılacak olası sonuçlar ve bunların etkilerinin azaltılması için gerekli olan yöntemleri irdelemiştir

Karaca Bilgen vd. (2019), su kaynaklarının yetersiz olduğu koşulda toplam alandan en yüksek gelirin elde edilebilmesi için hangi sulama alanına hangi oranda sulama suyu verileceği, verilen suyla hangi bitkilerin yetiştirileceği ve her bitkiye ne oranda sulama suyu verileceğinin belirlenebileceğini göstermişlerdir.

Türker (2019), su kaynaklarının verimli kullanılması ve sulama ile optimum verim elde edilmesi için bitki su tüketimleri ve sulama suyu ihtiyaçlarının doğru tespit edilmesi ve uygulanması ile verimliliği olumsuz etkileyen sorunların tespit edilmesi ve çözüm önerilerinin geliştirilmesi büyük önem taşıdığını vurgulamıştır.

Kahya (2020), depolanabilir su miktarının olasılık analizi yapılarak, farklı olasılıklara göre kullanılabilir su miktarları hesaplamış, hesaplamalar sonucunda modelin su kısıtına yönelik parametreleri belirlenerek gelecek yıllar için, yağış miktarlarına göre ne kadar alanda hangi bitkinin ekiminin yapılması ve 2. ürün ekiminin yapılıp yapılmayacağını, yapılırsa ne kadar alanda yapılması gerektiğini önceden belirleyen bir model oluşturmuştur.

3. MATERYAL ve METOT

3.1 Materyal

Bu araştırmada, Afyonkarahisar İli sınırları içinde rezervuar kapasitesi bakımından en büyük barajı olan Selevir Barajı'nın genel tanıtımı, sulama alanı, bitki deseni, optimizasyon modellemesi ve sonuçları hakkında tanıtıcı bilgiler verilmiştir.

3.1.1 Çalışma Alanının Yeri

Çalışma Alanı, Afyonkarahisar İl sınırları içinde, 11 numaralı Akarçay Kapalı Havzasında yer almaktadır. Afyonkarahisar İl merkezine 53 km, Şuhut İlçesine 12 km mesafede Kali Çayı üzerinde, sulama ve taşkın önleme amacı ile 1960-1964 yılları arasında inşa edilmiş bir barajdır. Toprak dolgu gövde tipinde olan barajın gövde hacmi 650.000 m^3, akarsu yatağından yüksekliği (talvegden) 31,40 m'dir. Normal su kotunda göl hacmi 74 hm^3, normal su kotunda göl alanı 5,04 km^{2}'dir.

Selevir Sulaması Afyonkarahisar Çay İlçe Merkezine bağlı 10 yerleşim birimine ait tarım arazilerinden brüt 9192 ha, net 7844 ha alanın sulanması ve 690 km^2 alanın taşkınlardan koruması amacıyla, 1967 yılında ve 1986 yılında kademeli olarak sulaması işletmeye açılmıştır.



Şekil 3.1 Çalışma alanı bulduru haritası (Google Earth programı üzerinden)

3.2 Su ve Toprak Kaynakları

Selevir Barajı, Afyonkarahisar İl sınırları içinde, 11 numaralı Akarçay Kapalı Havzasında yer almaktadır.

3.2.1 İklim

İç Ege Bölgesi ile Orta Anadolu Bölgesi iklimleri arasında bir geçiş iklimine sahiptir. Yazları sıcak ve kurak, kışları soğuk ve yağışlı geçmektedir. Sıcaklıklar Akdeniz ile İç Ege geçiş tipine uymaktadır. Yazları sıcak ve kurak, kışları soğuk ve yağışlı geçmektedir. İlk ve sonbahar ayları ise ılıman ve İlkbahar yağışlıdır (DSİ 2016).

3.2.2 Meteoroloji İstasyonları (Mİ)

Afyonkarahisar Selevir Barajı yağış alanı çevresindeki meteoroloji istasyonları ve işleten kurumları şöyledir. Selevir Barajı Mİ (DSİ), Koçbeyli Mİ (DSİ), Maltepe Mİ (DSİ), Çay Mİ (DMİ), Şuhut Mİ (DMİ)'dir (DSİ 2016).

3.2.3 Yağışlar

Baraj sahasını yağış yönünden temsil eden meteoroloji istasyonu aks yerindeki Selevir Barajı meteoroloji istasyonu (DSİ) dur. Bu istasyonun 1966-1994 yılları arasında 29 yıllık yağış rasatlarına göre yıllık ortalama yağışı 352,1 mm'dir. En fazla yağışın düştüğü ay 47,7 mm ortalama ile Mayıs Ayı, en az yağışın düştüğü ay ise 11,5 mm ortalama ile Eylül ayıdır (DSİ 2016).

3.2.4 Sıcaklıklar

Baraj çevresinde sıcaklık gözlemi yapan en uygun meteoroloji istasyonu Bolvadin DMİ'dir. Bu istasyonun 1969-2009 yılları arasında 41 yıllık sıcaklık rasatları mevcuttur. Buna göre yıllık ortalama sıcaklık 11,0^{o}C'dir. Aylık ortalama sıcaklığın en yüksek olduğu ay 22,3^{o}C ortalama ile Temmuz Ayı, ortalamanın en düşük olduğu ay ise -0,1^{o}C ile Ocak Ayıdır. Gözlenen en yüksek sıcaklık 2006 yılı Ağustos Ayında 26,2 0C, en düşük sıcaklık ise 1991 Şubat ayında –17,2^{o}C'dir (DSİ 2016).

3.2.5 Buharlaşma

Selevir Barajı meteoroloji istasyonunun (DSİ) 1966-1994 periyodunda Class A-Pan'a göre 29 yıllık buharlaşma rasatları mevcuttur. Buna göre yıllık ortalama buharlaşma 1538,9 mm'dir. En yüksek buharlaşma 307,2 mm'lik ortalama ile temmuz ayında olmaktadır (DSİ 2016).

3.2.6 Baraj Membasındaki İşletme ve İnşaat Aşamasındaki Göletler

Selevir Barajı membasında, DSİ 18. Bölge Müdürlüğü projelerinden 9 adet gölet bulunmaktadır. Bunlar, Kayabelen, Ağzıkara, Ortapınar, Şehit Uzman Çavuş Nurullah Oymak, Aydın, Çakırözü 25 Ağustos, Akyuva, Eşören ve Koçyatağı göletleridir.

İşletmede olan Kayabelen Gölet'i ile 314 ha (net), Ağzıkara Gölet'i ile 214 ha (net), Ortapınar Gölet'i ile 273 ha (net), Şehit Uzman Çavuş Nurullah Oymak Gölet'i ile 342 ha (net), Akyuva Gölet'i ile 183 ha (net), Aydın Gölet'i ile 410 ha (net) ve Çakırözü 25 Ağustos Gölet'i ile 265 ha (net), inşaat aşamasındaki Eşören Gölet'i ile 206 ha (net) ve Koçyatağı Gölet'i ile 765 ha (net) saha sulanmakta ve sulanacaktır (DSİ 2018).

3.2.7 Rehabilitasyon Projesi

İşletmeye açılan brüt 9192 ha, net 7844 ha alanda son 10 yıl ortalamasına göre 2746 ha net alan fiilen sulanmakta olup, işletmeye açılan alana göre sulama oranı %35 gözükmektedir. Ancak tesisin çok eski ve yıpranmış olması yanında devir protokolünde da belirtildiği üzere DSİ tarafından yeterli bakım onarım yapılmadan devredilmesi nedeniyle 600 ha'lık alanda sulama yapılmamaktadır. Tarla içi geliştirme hizmetlerinin yapılmaması ve topoğrafik yetersizlikler nedeniyle 450 ha alan fiilen sulanamamaktadır. Sulama alanı içinde kalan ancak sulamanın işletmeye açıldığı yıldan bu yana ciddi anlamda sulama yapılmayan 605 ha'lık çayır mera arazisi ve fiilen sulanamayan 250 ha'lık kum ocaklarına dönüştürülmüş arazi ile sulama sahası içerisindeki İnli Beldesi, Akkonak Beldesi, Karacaören Beldesi, Pazarağaç Beldesi ve Çay İlçe merkezindeki imar genişlemeleri nedeniyle toplamda yaklaşık 2250 ha'lık alanda fiilen sulama yapılamamaktadır. İşletmeye açılan 7844 ha'lık alan fiili olarak 5594 ha olarak sulanabilir saha olarak karşımıza çıkmaktadır (DSİ 2016).

Yukarıda zikredilen gerekçelerden dolayı DSİ Genel Müdürlüğünce Selevir Sulaması Yenileme Projesi başlatılmıştır. Bu projeye göre 8759,6 ha alanda yüksek basınçlı borulu sulama sistemi ile sulama yapılması hedeflenmiştir. Bu sayede mevcutta olan açık kanal sulama sisteminden borulu sulama sistemine geçilerek buharlaşma ve kayıp/kaçak ile

kaybolan suyu tasarruf etmek ve daha verimli ve kontrol edilebilir bir sulama sağlanmak istenmiştir.

Ayrıca 4500 dekarlık bir bölgede Tarla İçi Geçiştirme Hizmetleri kapsamında pilot çalışma olarak "Uzaktan Kontrollü Tarımsal Sulama Otomasyonu" çalışması başlatılmıştır. Bu çalışmaya göre çiftçiler cep telefonları vasıtası ile sulama sistemlerini uzaktan açıp kapatabilmekte ve büyük zaman tasarrufu sağlayabilmektedir (İnt. Kyn. 2).

3.3 Optimizasyon

Optimizasyon, bir sistemdeki mevcut kaynakların (işgücü, vakit, sermaye, süreç, hammadde, kapasite, donanım gibi) en verimli şekilde kullanılmasıyla belirli amaçlara (maliyet minimizasyonu, kâr, kapasite kullanımı ve verimliliğin maksimizasyonu gibi) ulaşmayı sağlayan bir araç olarak tanımlanmaktadır (Gass 2000, İnt Kyn. 3).

Optimizasyonda modelleme ve çözümleme en önemli iki unsur olarak nitelendirilmektedir. Gerçek hayatta karşılaşılan herhangi bir problemin matematiksel olarak ifadesini modelleme karşılamaktayken; çözümleme ise modeli sağlayan en iyi çözümün elde edilmesini kapsamaktadır.

Optimizasyon, karar verme süresini azaltmakta ve karar kalitesini arttırmakta kullanılarak gerçek hayatta karşılaşılan problemlerin etkin, doğru ve gerçek zamanlı çözümünde yararlanılmaktadır (Winston 2003). Optimizasyon, ekonomik açılardan getirdiği kazançların yanında müşteri, işveren ve çalışanların tercih ve kısıtlarının karar sürecinde yer almasında ve sistemde yer alan kaynakların kalitesinin yükseltilmesinde de etkin bir şekilde başvurulan bir yöntem olarak kullanılmaktadır.

3.3.1 Optimizasyon Modellerinin Oluşturulması

Modeller, temel bilimlerde ve mühendislikte yoğun olarak kullanılan, büyük kapsamlı bir sistemin tüm özelliklerini yansıtacak daha küçük boyutlardaki yapılardır. Modeller, genelde sistemin temel özelliklerini yansıtacak ve modelin kullanım amaçlarını gerçekçi olarak içerecek detaylar bulunur. Örneğin, tasarım aşamasında olan bir uçağı

düşürdüğümüz zaman, uçağın aero-dinamik yapısını incelerken gerçek uçak yerine uçağın modeli kullanılarak rüzgâr tüneli deneyleri yapılır. Tarımda ise bir bitkinin tüm özellikleri incelenip bitkinin veriminde iyileştirme çalışmaları yapılırken, bitkinin modelleri laboratuvar ortamında değişik parametrelere göre değerlendirilip sonuçlar analiz edilir.

Optimizasyon modelleri ise sistemin işleyişini ve özelliklerini yansıtan, sistemin içindeki ve çevresindeki diğer sistemlerle olan etkileşimleri kapsayan matematiksel ifadelerden oluşmaktadır (Williams 1999). Aşağıda da görüldüğü gibi, bu matematiksel ifadeler sistemin ölçülebilen özelliklerini belirleyen parametreler, en iyi sonuçları verecek karar değerlerini belirleyen değişkenlerden, sistemin optimize edilecek performans ölçütünden ve sistemin özelliklerini ve sınırlarını belirleyen kısıtlardan oluşmaktadır:

$$\begin{aligned} max\ z\ &=\ f(x,y) \\ k.s.\quad & g(\,x,y\,)=0 \\ & h(\,x,y\,)=0 \\ & x\in\ \Re n \\ & y\ \in\{0,1,2,\ldots,m\} \end{aligned} \tag{3.1}$$

Yukarıdaki optimizasyon probleminde sistemin performans ölçütü (amaç fonksiyonu) z=f(x,y) ile ifade edilmiş ve karar değişkenleri x ve y'nin bu ölçütü maksimize edecek değerlerinin bulunması hedeflenmektedir. Sistemin özellikleri ise g(x,y) eşitliği ve h(x,y) eşitsizlikleri (kısıtlar) belirlemektedir. Ayrıca, karar değişkenleri iki türlü ifade edilmiştir: n boyutlu uzayda herhangi bir reel değeri alabilen sürekli değişkenler (x) ve herhangi bir tamsayı değeri alabilen tamsayılı değişkenler (y). Optimizasyon modellerini içerdikleri karar değişkenlerinin, amaç fonksiyonunun ve sistem kısıtlarının özelliklerine göre sistem parametrelerinin bilinen sabit değerlere aldığı durumlarda aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır (İnt. Kyn. 4).

Eğer bir optimizasyon probleminde y değişkenleri yer almıyorsa ve f(x), g(x) ve h(x) fonksiyonları doğrusalsa o problem bir doğrusal programlama problemi olarak tanımlanır. Bir optimizasyon probleminde y değişkenleri yer almıyorsa ve f(x), g(x) ve h(x) fonksiyonların herhangi birisi doğrusal değilse o problem bir doğrusal olmayan programlama problemidir. Optimizasyon problemlerinde y değişkenleri yer alıyorsa

f(x,y), g(x,y) ve h(x,y) fonksiyonlarının doğrusal olması durumda problem tamsayı karışık doğrusal programlama problemi, f(x,y), g(x,y) ve h(x,y) fonksiyonlarından herhangi birisinin doğrusal olmaması durumunda ise tamsayı karışık doğrusal olmayan programlama elde edilir.

3.3.2 Doğrusal Olmayan Programlama Modelleri

Diğer modellerden farklı olarak bu modellerde amaç fonksiyonu ve/veya kısıtlardan bazıları doğrusal değildir. Optimizasyon sonucunda amaç fonksiyonunu eniyileyecek karar değişkenleri, x, n boyutlu uzayda herhangi bir gerçek değeri alabilirler.

$$\begin{aligned} Max\ z = \ & f(x) \\ k.s. \quad & g(x) = 0 \\ & h(x) \leq 0 \\ & x \in \Re n \end{aligned} \tag{3.2}$$

3.3.3 Optimizasyon Problemlerinin Doğrusal Olmayan Programlama ile Çözümü

Doğrusal olmayan optimizasyon problemlerinde çözüm için Karush-Kuhn-Tucker (KKT) şartlarına uyması gereklidir (Karush 1939, Kuhn ve Tucker 1951). Öncelikle, doğrusal olmayan optimizasyon problemlerinde amaç fonksiyonunun gradyanı ile kısıt fonksiyonların gradyanlarının her kısıt için tanımlanmış parametrelerle çarpımlarının toplamı sıfıra eşit olmalıdır. Eğer problemde sadece amaç fonksiyonu varsa sadece amaç fonksiyonun gradyanını sıfıra eşitleyecek karar değişkenlerinin değerleri amaç fonksiyonunu optimize etmiş olurlar.

$$\nabla f(x') + \sum_{j=1}^{m} \mu_j \ \nabla g_j(\mathrm{x}') + \sum_{j=1}^{r} \lambda_j \nabla h_j(x') = 0 \tag{3.3}$$

$$x'\left(\nabla f(x') + \sum_{j=1}^{r} \lambda_j \nabla h_j(x')\right) = 0 \tag{3.4}$$

$$g_j(x') = 0 \; j = 1, \ldots, m \tag{3.5}$$

$$h_j(x') \leq 0 \; j = 1, \ldots, r \tag{3.6}$$

$$\left.\begin{matrix} \lambda_j h_j(x') = 0 \\ \lambda_j \geq 0 \end{matrix}\right\} j = 1, \ldots, r \tag{3.7}$$

Ayrıca karar değişkenleri alacakları değerlerle tamamlayıcı koşuları yerine getirmeli, tüm kısıtlara uymalı ve kısıtlar için tanımlanan çarpanlardan λ_j için verilen ek şartlar sağlanmalıdır. Doğrusal olmayan problemlerin optimal çözümünü elde etmek için çeşitli metodlar kullanılmaktadır (Bazaraa vd. 2006). Bu metodlar arasında yaygın olarak kullanılan Aktif kısıt kümesi metodunu 5 ana basamaktan oluşmaktadır (Fletcher ve de la Masa 1989).

1. İterasyon sayacı tanımlanır, i=1.
2. Problemdeki tüm kısıtların sağlandığı varsayılarak aktif kısıt kümesi boş küme olarak belirlenir, $J_i=\{j \mid h_j=0\}$. Bu durumda, $J_i=\varnothing$, $\lambda_j=0$, j=1,..., r.
3. KKT şartları aşağıdaki gibi yazılır ve x değişkenleriyle λ_j ($j \in J_i$) çarpanlarının değeri belirlenir.

$$\nabla f(x') + \sum_{j=1}^{r} \lambda_j \nabla h_j(x') = 0$$

$$h_j(x') \le 0 \quad j \in J_1$$

4. Eğer tüm kısıtlar eşitlik olarak sağlanıyorsa ($h_j(x)$=0 ve λ_j<0, j=1,...,r) mevcut çözüm KKT şartlarını yerine getiriyor demektir ve en iyi çözüm bulunmuştur. Mevcut çözüm en iyi çözüm olarak raporlanır ve algoritma durdurulur.
5. Eğer herhangi bir kısıt sağlanmıyorsa ($h_j(x)$>0) ve/veya λ_j<0 ise:
   a. İterasyon sayacı güncellenir, i=i+1.
   b. Çarpanı sıfırdan küçük değer alan bir kısıt aktif set kümesinden çıkarılır. Birden fazla çarpanın sıfırdan küçük olması durumunda sıfırdan farkı en büyük olan kısıt seçilerek aktif kısıt kümesinden çıkarılır ve J_i kümesi güncellenir.
   c. Sağlanmayan kısıtlar ($h_j(x)$>0) J_i kümesine eklenerek güncellenir.
   d. 3. basamağa dönülerek yeni bir iterasyon yapılır.

Şekil 3.2 Aktif kısıt kümesi çözüm algoritması (Türkay 2006).

Doğrusal olmayan programlama problemlerinin çözümü için diğer yaklaşımlardan en yaygın olanları arasında indirgenmiş gradyan, ardışık karesel programlama, güvenli alan ve iç-nokta metotları sayılabilir (Bazaara vd. 2006).

3.4 GAMS (The General Algebraic Modeling System) Paket Programı

GAMS, matematiksel programlama ve optimizasyon için üst düzey bir modelleme sistemidir. Bir dil derleyici ve bir dizi ilişkili çözücüden oluşur. GAMS modelleme dili, modelleyicilerin gerçek dünyadaki optimizasyon sorunlarını hızlı bir şekilde bilgisayar

koduna çevirmesine olanak tanır. Gams dili derleyicisi daha sonra bu kodu çözücülerin anlayabileceği ve çözebileceği bir biçime çevirir. Bu mimari, model formülasyonunu değiştirmeden kullanılan çözücülerin değiştirilmesine izin vererek büyük esneklik sağlar (GAMS 2021).

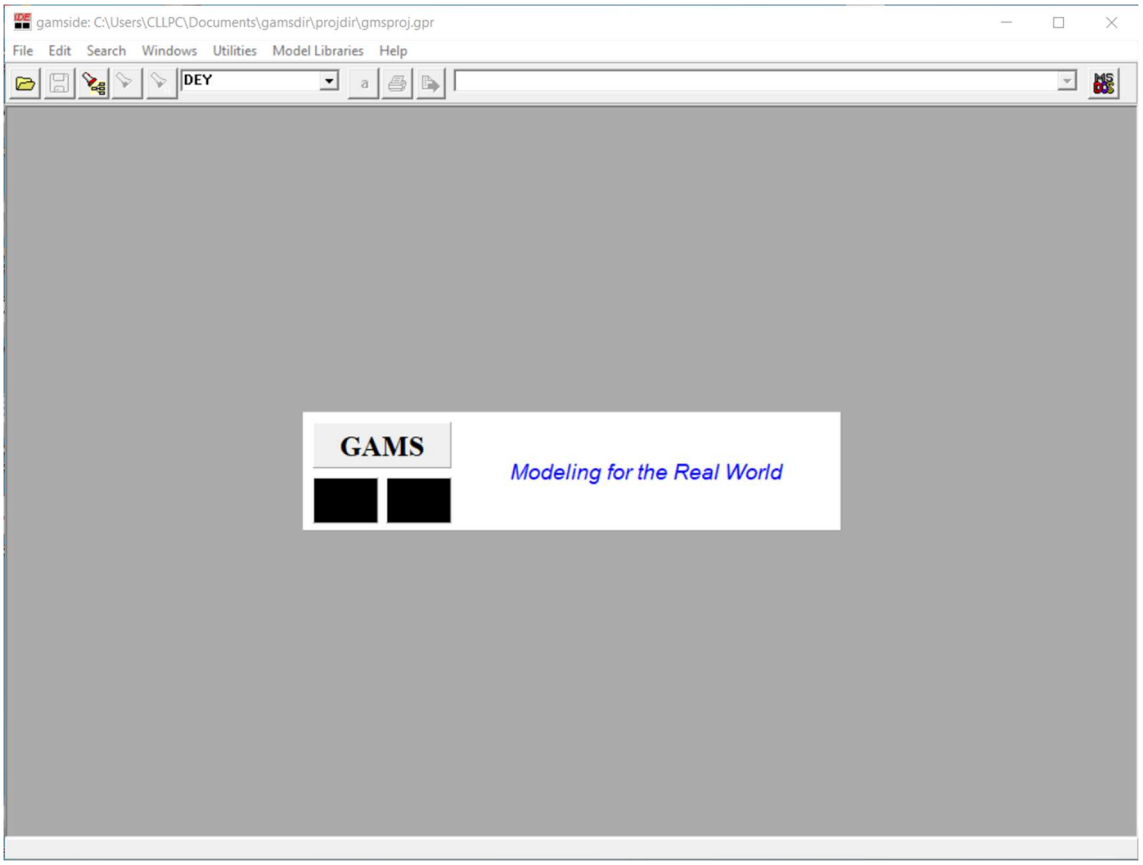
İlk olarak Dr. Anthony Brooke ve Dr. Alexander Meercus tarafından dünya bankası için geliştirilmeye başlamıştır. Popülaritesi artarak mühendislik problemlerinin çözümünde de kullanılır olmuştur. Özellikle doğrusal, doğrusal olmayan ve karmaşık tam sayı optimizasyon problemleri (minimize, maksimize ve simüle etme) için tasarlanmıştır. Elde edilen sonuçlar açısından güvenilir bir yapıya sahiptir. Bu program özellikle büyük ve kompleks problemlerin çözümünde kullanıcıya önemli katkılar sağlamakta ve daha kısa yoldan sonuca gitme imkânı vermektedir (Sancak 2014).

GAMS programlama dili genel programlama dilleriyle benzeşmektedir. IPOPT, CONPOT, CPLEX, OSL BPMLP, DECIS, XA SBB, SNOPT, PATH, MINOS, MPSGE, DICOPT gibi bilinen çözücüleri çözüm aracı olarak kullanmaktadır.

Bu çalışma için oluşturulan model GAMS programı kullanılarak oluşturulmuş ve model içerisindeki denklemler doğrusal olmayan programlama (NLP) yöntemi ile IPOPT (Interior Point OPTimizer) çözüm aracı kullanılarak çözülmüştür.
Bu programda çözüm genel olarak yedi basamakta yapılabilmektedir. Bunlar;

1. İndislerin tanımlanması
2. Sabit verilerin tanımlaması
3. Değişkenlerin tanımlanması
4. Denklem ve varsa kısıt fonksiyonlarının tanımlanması
5. Dahil edilmek istenen kısıt ve denklerin oluşturulması
6. Çözüm yöntemi tercihi
7. Sonuç değerlendirmesi

Program çalıştırıldığında karşılama ekranı şekildeki gibidir.



Şekil 3.3 GAMS program açılış sayfası

3.4.1 İndislerin Tanımlanması

Model içerisinde değişkenler ile denklemler arasındaki bağıntıların sağlanması için indisler kullanılmaktadır. İndislerin tanımlanması için "set" komutu kullanılmaktadır. Rakam, kelime veya harfler kullanılabilir. Örnek olarak yılın her bir ayına sayısal bir değer vermek istendiğinde aşağıdaki komut kullanılarak tanımı yapılmış olur. Ayrıca indisler kendi içinde de kullanım amacına uygun olarak alt indislere ayrılabilir.

$$\text{“}Set\ A\ /1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12/\text{”} \tag{3.8}$$

3.4.2 Sabit Verilerin Tanımlanması

Veri girişleri üç yolla yapılabilmektedir. Bunun için kullanılan komutlar scalars,

parameters ve table'dır. Sabit veriler için scalars komutu kullanılır. Örneğin çalışmamızda sabit değer olarak kabul edilen azami göl taban kotu aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$\text{“}gtk\ \text{Göl taban kotu}\ m\ /1065.40/\text{”} \tag{3.9}$$

Burada
/ işaretinden önce gelen ifade kullanıcı tarafından tercih edilen terimdir.
gtk, Göl taban kotu teriminin kısaltma kodudur.

Tek boyutlu matrisler ise parameters komutu ile tanımlanmaktadır. Örneğin bir önceki başlıkta da görülen şekilde indis tanımı yapılmış sadece bir yıl için gözlenen yağışlar modele tanımlanmak istenirse aşağıdaki komut yazılabilir:

$$Ya\ (A)\ /1\ 40.2,2\ 31.0,3\ 35.8,4\ 33.4,5\ 61.8,6\ 35.8,7\ 3.4,8\ 0.0,9\ 0.4,10\ 37.0,11\ 1.0,12\ 19.4/ \tag{3.10}$$

Yukarıdaki ifade ile 1.ayda 40.2 birim, 2.ayda 31 birim…Yağış düştüğü ifade etmektedir.

Birden fazla boyuta sahip matrisler ise table komutu ile tanımlanmaktır. Örnek olarak 5 yıl boyunca yılın her bir ayında düşen yağış miktarının tanımlanması şekil 3.4'te gösterilmektedir.

```
table ya(A,Y) Aylık yağış miktarı (mm)
```

	1	2	3	4	5
1	40.2	99.4	21.0	32.6	40.0
2	31.0	41.8	54.0	6.6	61.4
3	35.8	15.6	31.8	41.6	90.4
4	33.4	19.4	38.0	23.6	44.4
5	61.8	80.8	42.4	75.4	58.0
6	35.8	3.6	13.4	51.6	66.6
7	3.4	0.4	42.0	4.8	6.6
8	0.0	11.2	15.4	0.4	40.3
9	0.4	9.6	0.0	79.0	0.2
10	37.0	17.2	32.8	51.8	17.8
11	1.0	46.2	29.0	13.8	10.2
12	19.4	54.8	7.4	40.4	0.0

Şekil 3.4 Table komutu ile yapılan veri tanımlaması

3.4.3 Değişkenlerin Tanımlanması

Değişkenler 5 farklı şekilde tanımlanmaktadır. Bunlar; variables (serbest değişkenler), positive variables (pozitif değişkenler), negative variables (negatif değişkenler), integer variables (tamsayı değişkenler) ve binary variables (ikili değişken, 0 ya da 1). Örnek olarak çalışmamızda negatif değer almayacak olan güncel göl hacim değeri "positive variables" komutu altında "VgB (A, Y)" olarak tanımlanmıştır.

Modele tanımlanan değişkenlere alt ve üst sınır konulabilmektedir. Yine modelimizde Selevir Baraj gölü hacminin müsaade edilebilecek en düşük hacim değeri 1,15 hm^3 olabileceğinden, bu "VgB.lo=1,15" komutu ile sınırlandırılmıştır. Üst sınır koymak için ise "up" komutu kullanılmaktadır.

3.4.4 Denklem ve Varsa Kısıt Fonksiyonlarının Tanımlanması

Oluşturulan modellerde denklemlerin tanımlanması iki aşamada yapılmaktadır. İlk aşamada tüm denklem ve kısıt fonksiyonlarının adları tanımlanmakta daha sonra adı tanımlı her denklem ayrıntılandırılmaktadır. Kullanılacak tüm denklem ve eşitsizlik adları ilk adımda tanımlanmalıdır.

Denklem isimleri "equations" komutu kullanılarak tanımlanmaktadır. Örnek olarak çalışmamızda tanımlanan denklemlerden biri olan aylık buharlaşma hacmi denklemi aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$"QETD(A,Y)\ Aylık\ buharlaşma\ hacmi\ denklemi."\qquad(3.11)$$

Buharlaşma hacmi denklem sonucu ay ve yıla göre değişim gösterdiğinden denklem tanımlanırken "(A,Y)" indisleri ile yazılmaktadır. Parantez kapandıktan sonra yazılan metin modele dahil olmayan, bilgilendirmek amaçlı yazılmış ifadedir.

Sonucu sabit bir değer olan denklemlerde ise sadece denklem adı yazılır. Örnek olarak 5 yıl sonunda kâr ve zararların toplanması ile sayısal bir değer olarak elde edilen "Fayda" teriminin hesaplandığı denklemin adı objective olarak belirlenmiş ve "OBJECTIVE FAYDA DENKLEMİ" olacak şekilde tanımlanmıştır.

3.4.5 Dahil Edilmek İstenen Kısıt ve Denklerin Oluşturulması

İlk aşamada adları tanımlanan denklemler ikinci aşamada ayrıntılı olarak yazılmaktadır. Denklemlerin yazılması aşağıda gösterildiği gibidir:

Denklem_adı..ifade1=işlem=ifade2;

"Denklem_adı" ifadesi ile kastedilen ilk aşamada tanımlanan denklem adlarından birisidir. Daha sonra yazılan ".." ifadesi denklemin adı ile açılımını ayırmaktadır. Denklemin sağı ve solu arasındaki ilişkinin ne olacağı "işlem" ifadesi ile belirlenmektedir. Kullanılan operatörler şunlardır:

=E= Denklemin sağı ve solunun eşit olduğunu ifade etmektedir. (=)
=G= Denklemin solu, sağından büyük ya da eşit olduğunu ifade etmektedir (>=)
=L= Denklemin solu, sağından küçük ya da eşit olduğunu ifade etmektedir. (<=)

Örnek olarak Selevir Baraj Gölü güncel hacim denklemi olan VgBD(A,Y) aşağıdaki gibi yazılmıştır.

$$"VgBD(A,Y)..VgB(A,Y) = e = Vg(A,Y) - QSAL(A,Y) - QTAS(A,Y)" \quad (3.12)$$

Bu denklemde pozitif değişken olarak tanımlanmış değişkenler kullanılmıştır.
VgB(A,Y), O aya ait hacim,
Vg(A,Y), Gelen hacim miktarı,
QSAL(A,Y), Salınan su miktarı,
QTAS(A,Y), Taşkın olan su miktarını ifade etmektedir.

Denklemler yazılırken "$" operatörü kullanılarak mantık ilişkisi oluşturulabilir. Örnek olarak yonca bitkisi için rezervuardan çekilecek su miktarı olan hBSID1(A,Y) değişkeni tanımladığımız iki denklemden biri ile hesaplanmaktadır. Buna göre, yılın her ayında farklı değere sahip olan bitki su ihtiyacının "bsiYonca(A,Y)", yılın her ayında farklı değerlere sahip yağış miktarından ya(A,Y) az olduğu aylarda çekilecek su miktarı

aşağıdaki denklem ile hesaplanmaktadır;

$$"hBSID1(A,Y)\$((bsiYonca(A,Y) - ya(A,Y)) > 0)..hBSIy(A,Y) = e = bsiYonca(A,Y) - (DEY * ya(A,Y));" \quad (3.13)$$

(Bitki Su İhtiyacı Yüksekliği-Yağış Yüksekliği >0 ise
Çekilecek Su Hacmi = Bitki Su ihtiyacı Yüksekliği-(Yağış Yüksekliği*Katsayı)

Tersi durumda ise aşağıdaki denklem ile hesaplanmaktadır;

$$"hBSID2(A,Y)\$((bsiYonca(A,Y) - ya(A,Y)) < 0)..hBSIy(A,Y) = e = 0;" \quad (3.14)$$

Burada;
hBSID(A,Y), Bitki su ihtiyacı denklemini,
hBSIy(A,Y), Yonca bitkisine ait aylık su ihtiyacını,
bsiYonca(A,Y), Yonca bitkisine ait su ihtiyacını,
ya(A,Y), Aylık yağış miktarını,
DEY, Yağış değişiklik katsayısını ifade etmektedir.

3.4.6 Çözüm Yöntemi Tercihi

Veri girişinin tamamlanmasından sonra modelin çözümü için gerekli komutların verilmesi gerekmektedir. Burada önce modele isim verilerek hangi denklemlerin çözüme katılacağı tanımlanır. Bu çalışmada da modelin adı "SELEVIR_OPTIMIZASYON" olarak seçilmiş ve tüm denklemlerin modelleme hesabında kullanılması istenildiğinden aşağıdaki komut kullanılarak tanımlama yapılmış olur.

$$"model\ SELEVIR_OPTIMIZASYON/all/; \quad (3.15)$$

Son olarak modeli çalıştırmak için "solve" komutu kullanılır. Bu komut aşağıdaki kalıba göre çalıştırılır;

Solve Model_Adı using çözüm_yöntemi *maximizing/minimizing amaç_fonksiyonu* (3.16)

Burada;
Model_Adı ifadesi bir önceki adımda modele verilen addır.
Using komutu tercih edilen yöntemi seçmek içindir.
Çözüm_yöntemi ifadesi yerine modelin yapısına uygun olarak seçilen ve GAMS paket programı bünyesinde bulunan bir çözüm yöntemi seçilmelidir. GAMS içinde barındırdığı bazı yöntemler şunlardır;

"lp" doğrusal programlama
"nlp" doğrusal olmayan programlama
"mip" tamsayılı programlama
"rmip" genişletilmiş tamsayılı programlama
"minlp" tamsayılı, doğrusal olmayan programlama
"rminlp" genişletilmiş tamsayılı, doğrusal olmayan programlama
"mpec" denge kısıtlı matematiksel modeller
"cns" kısıtlanmış nonlinear sistemler

Amacımıza göre amaç fonksiyonun maksimize edilmesi isteniyorsa "maximizing", minimize edilmesi isteniyorsa "minimizing" komutu seçilir. Amaç fonksiyonu olarak optimize edilmek istenen fonksiyonun adı yazılır. Çözüm yönteminin seçildiği "solve" komutunun uygulanışı şöyledir;

"Solve SELEVIR_OPTIMIZASYON using NLP maximizing FAYDA;"(3.17)

Burada;
Solve, Çözüm komutunu,
NLP, Doğrusal olamayan programlamayı ifade eder.

3.4.7 Sonuç Değerlendirmesi

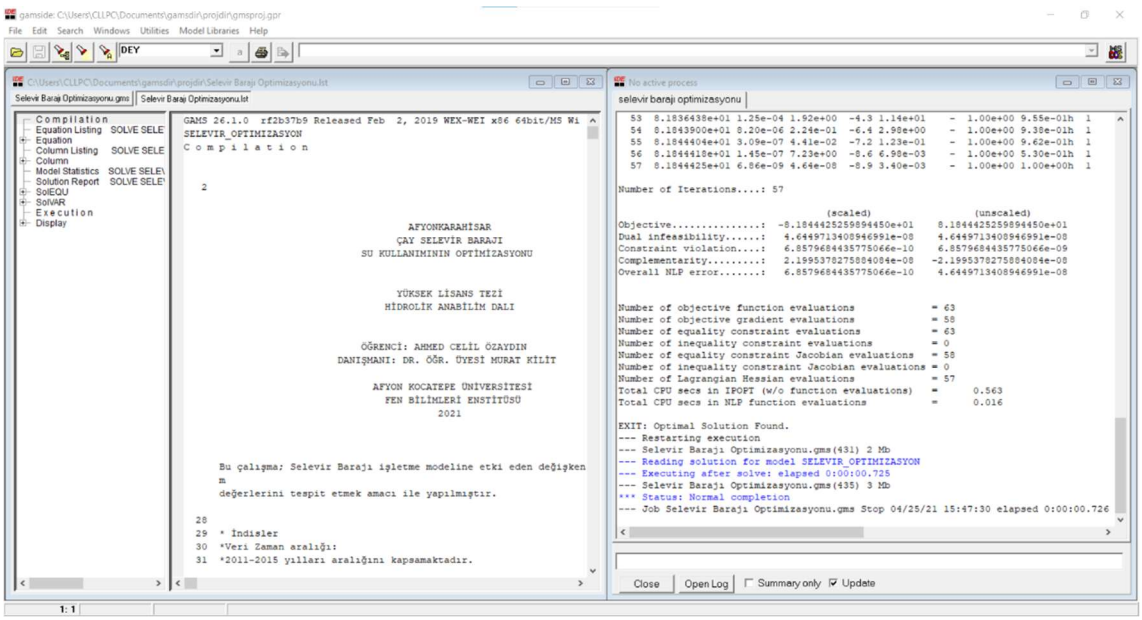
Çözüm yönteminin belirlendiği komutun oluşturulması ile model tamamlanmış olur.

GAMS yazılımı bünyesinde çok sayıda çözücü algoritma barındırmaktadır. Programın temel çözücüsü CONOPT isimli algoritmadır. Hesaplama süresi seçilen çözücüye göre değişmektedir. Çözücü seçimi için "option" komutu kullanılabilir. Örnek olarak bu modelde çözücü olarak CONOPT'a göre daha kısa sürede çözüm yapan IPOPT çözücüsü kullanılmaktadır.

$$option\ nlp = ipopt; \tag{3.18}$$

Son olarak ta modelleme sonundaki değeri görülmek istenilen terimler "display" komutu kullanılarak listenebilir.

Modelin çalıştırılması akabinde hesaplama başlamakta ve herhangi bir yazım yanlışı olmaması halinde karşımıza çeşitli bilgiler içeren iki pencere çıkmaktadır.



Şekil 3.5 GAMS sonuç raporu ve süreç ekranı

İlk olarak kontrol edilmesi gereken en önemli nokta çözümün normal olarak tamamlanıp tamamlanmadığı ve optimum sonuca ulaşılıp ulaşılmadığıdır. Bu bilgi açılan penceredeki raporun son bölümü ile anlaşılmaktadır. Hesaplama sonuçları uzantısı ".lst" olan bir pencere ile komut ekranının yanına eklenilir. "Display" başlığı genişletilerek görülmek istenen bilinmeyenlerin modelleme sonucu incelenebilmektedir.

4. BULGULAR

Yapılan bu modelleme çalışmasında su bütçesine etkisi olan girdiler belirlenmiş, literatür ve piyasa araştırması yapılarak bunlara maddi değerler atanmış, lineer olmayan programlama yöntemleri ile kar-zarar hesabı yapılmış ve optimum bitki deseni ve sulama ile azami gelir hesaplaması yapılmıştır.

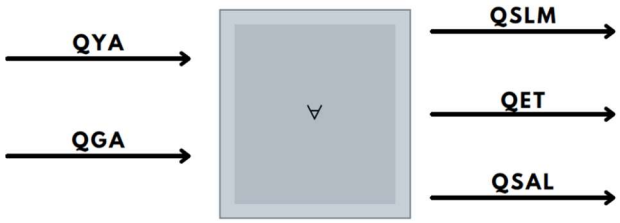
4.1 Model Oluşturulması

Genel olarak optimizasyon hesaplamalarında amaç fonksiyonları ve kısıtlar, karara etki eden değişkenlerin doğrusal fonksiyonu olarak ele alınır. Çoğu karar probleminde, bu tür doğrusal fonksiyonların kullanımı uygundur görülmektedir. Optimizasyon problemlerinin diğer tipleri, karara etki eden değişkenlerin bir fonksiyonunu ve kısıtlarını içermektedir. Bu problemler doğrusal olmayan programlama (NLP) olarak adlandırılmaktadır. Bir doğrusal olmayan programlama probleminin formüle edilme şekli bir doğrusal programlama probleminin formüle edilmesi ile benzeşmektedir. Her iki durumda da programlayıcı uygun karar değişkenlerini belirlemeli ve bu değişkenleri kullanarak uygun amaç fonksiyonları ve kısıtları formüle etmelidir (Sattari vd. 2008).

Yapılan modellemede su çevrimine olan etkisi olan girdiler belirlenmiş, literatür araştırmasıyla bunlara maddi değerler atanmış, doğrusal olmayan programlama yöntemi kullanılarak, kar-zarar hesabı yapılmış ve optimum su seviyesi ve su hacim değerleri tespit edilmiştir.

Selevir Barajını basitçe Şekil 4.1'deki gibi ifade edilecek olursak optimizasyon modeli temel girdileri aşağıdaki gibi olmaktadır:

QYA: Yüzeysel akış ile gelen su hacmi
QGA: Göl alanı üzerine düşen yağış ile gelen su hacmi
QET: Buharlaşma ile giden su hacmi
QSLM: Sulama için gölden çekilebilecek toplam su hacmi
QSAL: Dolusavaktan salınabilecek su hacmi



Şekil 4.1 Optimizasyon modeli girdileri

Girdileri etkileyen çeşitli iklimsel ve coğrafi değişkenler bulunmaktadır.
İklimsel değişkenler dikkate alınarak;

- Yüzeysel akış değerleri: Baraj membasındaki yapılmış DSİ ölçümleri ile,
- Yağış değerleri: Meteoroloji istasyonu verileri ile,
- Göl yüzeyinden buharlaşan su: Penman-Monteith hesaplamalarıyla,
- Bitki su ihtiyaçları: Blaney-Criddle hesaplamalarıyla,
- Fayda denklemi katsayıları: Selevir sulama birliği verileri ve piyasa araştırması yapılarak tespit edilmiştir.

4.2 İndislerin Tanımlanması

Gams programında indislerin tanımlanması için kullanılan komut ‘sets’ komutudur. Bu çalışmada kullanılan indisler ayları ve yılları temsil etmekte olup model için 2011-2015 yıllarını kapsayan 5 yıllık veriler kullanılmıştır. Modeli oluşturanın tercihlerine göre bu süreler dilenildiği gibi değiştirilebilmektedir.

Ay ve yıl tanımlamalarında A indisi ile aylar tanımlanırken Y indisi ile de yıllar tanımlanmaktadır. Ayların tanımlanması “A /1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12/” şeklindeyken yıllar “Y /1,2,3,4,5/” şeklinde tanımlanmıştır.

4.3 Girdilerin Tanımlanması

İndislerin tanımlanması akabinde girdiler tanımlanmıştır. Girdilerin bir kısmı aylık periyotlarda değişiklik gösterirken bir kısmı da her daim sabit kalmaktadır.

ya(A,Y) :Aylık yağış miktarı (mm)

bh(A,Y) :Aylık buharlaşma yüksekliği (mm)

QYA(A,Y) :Aylık Yüzeysel Akış İle Gelen Hacim (hm^3)

bsiYonca(A,Y):Yonca bitkisi için Aylık bitki su ihtiyacı yüksekliği (mm)

bsiPancar(A,Y):Pancar Bitkisi İçin Aylık bitki su ihtiyacı yüksekliği (mm)

bsiMisir(A,Y) : Mısır Bitkisi İçin Aylık bitki su ihtiyacı yüksekliği (mm)

Bunlardan aylık yağış miktarı meteoroloji istasyonu tarafından yapılmış ölçüm sonuçlarından, buharlaşma yüksekliği ve bitki su ihtiyaçları Penman-Monteith ve Blaney-Criddle yöntemleri kullanılarak elde edilmiştir.

4.3.1 Yağış Miktarlarının Elde Edilmesi

Çalışma alanının etrafındaki Bolvadin, Çay ve Şuhut İlçelerinde DMİ'ye ait meteoroloji istasyonları bulunmaktadır. Bu istasyonların uzun vadeli ölçüm verileri incelendiğinde Bolvadin istasyonuna ait verilerin daha uzun süreli ve kesintisiz olmasından dolayı bu istasyona ait 2011-2015 yılları arası ortalama yağış verileri model için tercih edilmiştir. Bolvadin OMGİ verileri aşağıdaki gibidir.

METEOROLOJİ

T.C.
Tarım ve Orman Bakanlığı
Meteoroloji Genel Müdürlüğü

İstasyon Adı/No: BOLVADİN/17796

Aylık Toplam Yağış (mm=kg÷m²) OMGİ

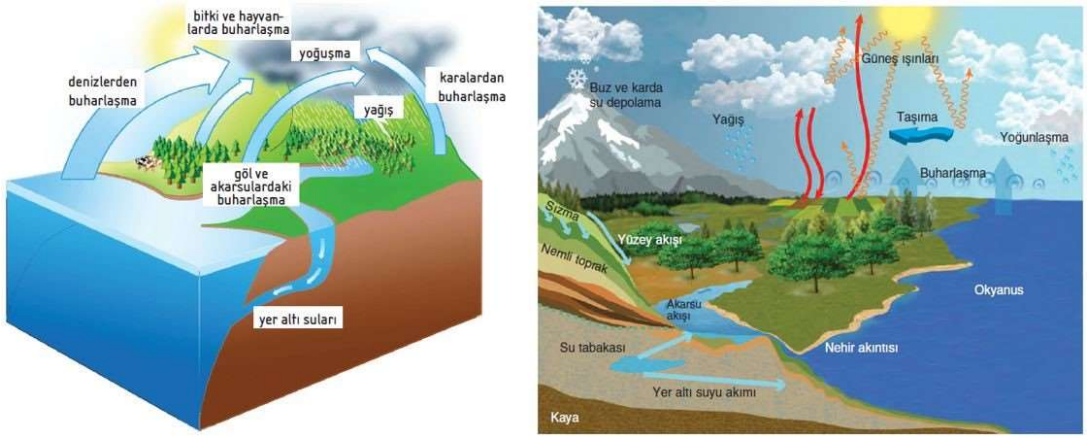
Yıl/Ay	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2010	48.2	67.6	35.6	72.4	15.8	52.2	5.0	1.2	7.6	99.4	8.0	11.0
2011	40.2	31.0	35.8	33.4	61.8	35.8	3.4	0.0	0.4	37.0	1.0	19.4
2012	99.4	41.8	15.6	19.4	80.8	3.6	0.4	11.2	9.6	17.2	46.2	54.8
2013	21.0	54.0	31.8	38.0	42.4	13.4	42.0	15.4	0.0	32.8	29.0	7.4
2014	32.6	6.6	41.6	23.6	75.4	51.6	4.8	0.4	79.0	51.8	13.8	40.4
2015	40.0	61.4	90.4	44.4	58.0	66.6	6.6	40.3	0.2	17.8	10.2	0.0
2016	77.8	19.2	48.4	20.2	53.6	4.8	24.2	62.3	21.6	5.6	0.0	26.2
2017	42.6	8.6	18.9	35.8	65.6	51.8	0.8	13.3	10.9	17.8	31.7	25.2
2018	29.8	15.6	67.6	3.6	86.7	25.0	22.2	45.7	1.0	62.1	33.1	49.5
2019	41.6	17.2	22.4	24.6	51.4	45.0	24.2	2.3	5.6	0.0		

Şekil 4.2 Aylık ortalama yapış miktarları (DMİ 2018).

4.3.2 Buharlaşma Yüksekliğinin Tespiti

Buharlaşma iki farklı şekilde modele dahil olmaktadır. Göl yüzeyinden doğrudan gerçekleşen buharlaşma modele direkt etki eden önemli girdilerden biriyken, bitki su ihtiyacını etkileyen buharlaşma ise bitki desenine göre değişim göstermektedir.

Doğadaki hidrolojik çevrimin önemli bir kısmını oluşturan buharlaşma, Uluslararası Hidroloji Sözlüğü'ne (WMO 2012) göre kaynama noktası altı sıcaklıklarda suyun gaz haline dönüşümü şeklinde tanımlanmaktadır (Şekil 4.3). Dünya üzerinde su bulunduran her yüzey, su buharının kaynağı olmaktadır. Denizler, göller, akarsuların yanı sıra nemli topraklar, kar ya da buz ile kaplanmış yüzeyler, ormanlar ve bitki örtüsüne sahip arazilerde de devamlı buharlaşma gerçekleşmektedir. Global miktarda buharlaşan su ile dünyaya yağış olarak düşen su yaklaşık olarak eşittir. Bundan dolayı atmosferdeki su buharı miktarı zaman bağlı olmaksızın sabit kalır. Buna rağmen konumsal olarak farklılık görülebilmektedir. Karalar üzerinde yağış miktarı buharlaşmadan fazlayken, okyanuslar üzerinde buharlaşma fazladır (MGM 2021).



Şekil 4.3 Buharlaşma ve hidrolojik dönüşüm (İnt. Kyn. 5).

Yüzeyden gerçekleşen dönüşüm ile oluşan kayıplara buharlaşma (evaporasyon) adı verilirken, bitkilerde oluşan su kaybına terleme (transpirasyon), bitki, toprak ve su yüzeyinden meydana gelen toplam su kaybına ise evapotranspirasyon denilmektedir. Yapılmış çalışmalara göre atmosferdeki su buharının %90'ı buharlaşma, %10'u ise bitkilerin terlemesi kaynaklıdır (USGS 2016).

Penman-Monteith Denklemi

Bitki su tüketim yöntemleri birçok farklı koşula bağlı olarak değiştiğinden ve bölgeden bölgeye göre farklılık gösterdiğinden yöreye özgü eşitlikler geliştirilse bile sağlıklı sonuçlar vermemiştir. Bu amaçla bitki su tüketim miktarını belirlemeye yönelik birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar içerisinde çok sayıda araştırma iklim verilerine bağlı olarak bitki su tüketimi belirleme yöntemlerinde en başarılı yöntemin Penman-Monteith olduğu belirtilmiştir (Monteith 1965).

Penman 1948'de iklim değerleri kayıtlarını ele alarak açık su yüzeyinden buharlaşma formülünü geliştirmiştir. Monteith tarafından bu yöntem 1976'da aerodinamik ve yüzey direnci faktörleri eklenerek bitkiler için daha da geliştirilmiştir. 1990 yılında ise FAO tarafından, çeşitli uzmanlar FAO Penman-Monteith yöntemi adını ortaya çıkartmışlardır. Bu yöntem farklı ülkeler arasında farklı adlandırılmasına rağmen potansiyel su tüketiminin yerine "referans bitki su tüketimi ile kavramı ile FAO56- PM olarak kullanılmaya başlamıştır (Koç ve Güner 2005, İlhan ve Utku 1998, Allen vd. 1994).

FAO Penman-Monteith denklemi şu şekildedir (Allen vd. 1998).

$$\boldsymbol{\lambda ET} = \frac{\boldsymbol{\Delta(R_n - G)\rho_a C_p \frac{(e_s - e_s)}{r_a}}}{\boldsymbol{\Delta + \gamma\left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right)}} \qquad (4.1)$$

Burada;

λ Suyun buharlaşma ısısı (MJ/kg),

ET Buharlaşma (mm/gün),

Δ Doymuş buhar basıncı sıcaklık eğrisinin eğimi (kPa/^{o}C),

γ Psikrometrik sabit (kPa/^{o}C),

R_n Net Radyasyon (MJ/gün m^2),

G Toprak ısı akımı yoğunluğu (MJ/gün m^2),

e_s Günlük ortalama sıcaklıkta doymuş buhar basıncı (kPa),

e_a Havanın ortalama gerçek buhar basıncı (kPa),

ρ_a Havanın yoğunluğu (kg/m^3) (1,293~1,204),

C_p Sabit basınçtaki nemli havanın özgül ısısı (1,01*10^{-3} MJ/kg ^{o}C),

r_a Atmosfer sınır tabakası içine su buharı yayılmasına karşı hava dinamiği direnci (s/m), r_s su buhar transferine karşı yüzey direncidir.(s/m)

Bu denklemdeki değişkenlerden bazıları kendi içindeki denklemlerle bulunmaktadır. Şöyle ki;

$$\Delta = \frac{4098\left[0{,}61exp\left(\frac{17{,}27T}{T+237{,}3}\right)\right]}{(T+237{,}3)^2} \tag{4.2}$$

Burada;
T, Ortalama hava sıcaklığı değeridir. (°C)

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \tag{4.3}$$

Burada;
R_n, Net Radyasyon (MJ/gün m²),
R_{ns}, Net güneş radyasyonu,
R_{nl}, Net uzun dalga radyasyonudur.

$$R_{ns} = (1 - \alpha)R_s \tag{4.4}$$

Burada;
α, Albedo Sabiti (Çimenli alanlar için 0,20–0,25 aralığında alınmaktadır.)
R_s, Atmosfer Dışındaki Güneş Radyasyonu (MJ/(m^2.gün))

$$R_s = (a_s - b_s\frac{n}{N})R_a \tag{4.5}$$

Burada;
a_s, Geri dönüş sabiti (yaklaşık 0,25),
b_s, Yüzeye ulaşan radyasyon oranın sabiti (yaklaşık 0,50),
n, Günlük güneşlenme süresi (saat),
N, Günlük maksimum güneşlenme süresi (saat)
R_a, Atmosfer dışındaki radyasyon (MJ/(m^2.gün))

$$R_a = \frac{24*60}{\pi}.G_{sc}.d_r(w_s.sin\varphi.sin\delta + w_s.cos\varphi.cos\delta) \quad (4.6)$$

Burada;

G_{sc}, Güneşlenme sabiti (MJ/(m^2.min)), yaklaşık 0,0820)

d_r, Güneş-Dünya arasındaki uzaklığa bağlı denklem,

w_s, Gündoğumu saatine bağlı açı değeri (rad),

δ Solar kırılma (rad),

φ Enlem (rad) şeklindedir.

$$d_r = 1 + 0{,}033\cos\left(\frac{2\pi}{365}J\right) \quad (4.7)$$

Burada J günün yıl içindeki sıra sayısıdır.

$$w_s = arrcos[-\tan(\varphi)\tan(\delta)] \quad (4.8)$$

$$\varphi = \frac{\pi}{180} * (derece) \quad (4.9)$$

$$\delta = 0{,}409\sin\left(\frac{2\pi}{365}J - 1{,}39\right) \quad (4.10)$$

Yine;

$$R_{nl} = \sigma\left[\frac{T_{maks,k4}+T_{min,k4}}{2}\right](0{,}34 + 0{,}14\sqrt{e_a})(1{,}35\frac{R_s}{R_{so}} - 0{,}35) \quad (4.11)$$

Burada;

σ, Stefan-Boltzman Sabiti (4,903*10^{-9}MJ k^{-4} m^2gün^{-1}),

Tmax,k Günlük maksimum sıcaklık (K= °C+273.16),

Tmin,k Günlük minimum sıcaklık (K= °C+273.16),

ea, Havanın ortalama gerçek buhar basıncı (kPa),

Rs, Güneş Radyasyonu (MJ/m^2.gün),

$$R_{so} = (0{,}75 + 2 * 10^{-5} * z)R_a \quad (4.12)$$

Burada;

Ra, atmosfer dışındaki radyasyon (MJ/(m^2.gün),

z, deniz seviyesinden yüksekliktir (m).

$$e_s = \frac{e^0(T_{maks)} + e^0(T_{min})}{2} \quad (4.13)$$

Burada;

T_{maks} günlük maksimum hava sıcaklığı (°C),

$T_{min,}$ günlük minimum hava sıcaklığı (°C),

e^0, ortalama sıcaklıkta doymuş buhar basıncı değeridir.

Yine;

$$r_a = \frac{ln\left(\frac{z_m - d}{z_{om}}\right) \ln\left(\frac{z_h - d}{z_{oh}}\right)}{k^2 u_z} \quad (4.14)$$

Burada;

zm, Rüzgâr ölçüm yüksekliği (m),

zh, Nem ölçüm yüksekliği (m),

d, Sıfır düzleme göre yükseklik değişimi (m),

z_{om}, Momentum transferine etki eden pürüzlülük uzunluğu (m),

z_{oh}, Isı ve buharlaşmaya etki eden pürüzlülük uzunluğu (m),

k, Von Karman sabiti (0,41),

u_z, Z yüksekliğindeki rüzgar hızıdır. (m/s)

d, z_{om} ve z_{oh} değerleri için mevcut bitki örtüsü yüksekliğine (h) bağlı olarak genel yaklaşık bir değer kabul edilmiştir. Şöyle ki;

$$d = \frac{2}{3}h \quad (4.15)$$

$$z_{om} = 0{,}123h \quad (4.16)$$

$$z_{oh} = 0{,}1 z_{om} \quad (4.17)$$

Yine;

$$r_s = \frac{r_1}{LAI_{active}} \tag{4.18}$$

Burada;

$r_ı$, Aydınlık ortamda stomatal direnç (s/m),

LAI_{active}, Güneş gören yaprak alan indeksi

$$\gamma = \frac{C_p.P}{\varepsilon\lambda} \tag{4.19}$$

Burada;

C_p, Sabit basınçta özgül ısı 1.013 10-3 (MJ/kg°C),

P Atmosfer Basıncı (kPa),

ε Su buharı kuru hava molekül ağırlıkları oranı (0.622),

λ, Buharlaşma ısısı 2.45 (MJ/kg) şeklindedir.

$$P = 101{,}3\left(\frac{293-0{,}0065z}{293}\right)^{5{,}26} \tag{4.20}$$

Penman Denklemi

Penman tarafından 1948 yılında önerilen ve kabul edilebilir sonuçları olan ve yaygın olarak kullanılan bu formül, buharlaşma miktarı hava şartlarına bağlı olarak hesaplama yapmaktadır ve bitki örtüsünün varlığını dikkate almamaktadır. Bu nedenle göl yüzeyinde meydana gelen buharlaşma miktarının hesabında bu model kullanılmaktadır. Denklem şu şekilde ifade edilmiştir.

$$E = \left[\frac{\Delta}{\Delta+\gamma}\right] * R_n + \left[\frac{\Delta}{\Delta+\gamma}\right] * f(u) * (e_s - e_a) \tag{4.21}$$

Burada;

E, Buharlaşma (mm/gün),

Δ, Doymuş buhar basıncı sıcaklık eğrisinin eğimi (kPa/^{o}C),

γ, Psikrometrik sabit (kPa/^{o}C),

R_n, Net radyasyon (cal/gün cm2),

f(u), Rüzgâr hızına bağlı fonksiyon değeri,

e_s, Günlük ortalama sıcaklıkta doymuş buhar basıncı (kPa) (yerden z kadar yükseklikte),

e_a, Havanın ortalama gerçek buhar basıncı (kPa) (yerden z kadar yükseklikte) dır.

$$\Delta = \frac{4090\ s}{(237{,}3+T_a)^2} \tag{4.22}$$

Burada;

e_s, Günlük ortalama sıcaklıkta doymuş buhar basıncı (kPa) (yerden z kadar yükseklikte),

T_a, Ortalama hava sıcaklığı (^{o}C)

$$\gamma = \frac{0{,}0016286P}{\lambda} \tag{4.23}$$

Burada;

P, Atmosfer Basıncı (kPa),

λ, Buharlaşma ısısıdır. (cal/kg)

$$\lambda = 2{,}5 - 0{,}002361T_w \tag{4.24}$$

Burada T_w Su sıcaklığıdır. (^{o}C)

$$R_n = R_C(1-\alpha) - R_B \tag{4.25}$$

Burada;

R_C, Yeryüzüne ulaşan radyasyon (cal/cm²),

α, Albedo Sabiti (su yüzeyi için 0,08),

R_B, Yansıyan radyasyondur. (cal/cm²)

$$R_C = R_A\left[0{,}2 + 0{,}48\frac{n}{D}\right] \tag{4.26}$$

Burada;

n/D, Güneşlenme süresi oranı,

R_A, Angot güneş radyasyonu değeridir. (cal/cm²).

$$R_A = 7{,}76\frac{D.sin\phi sin\delta + 2cos\phi cos\delta * \sin\left(\frac{D}{2}\right)}{[1-0{,}01673\cos\left(0{,}017214(J-1)\right)]^2} \quad (4.27)$$

Burada;

J, Günün yıl içindeki sırası,

δ, Solar kırılma (rad),

φ, Enlem değerleridir. (rad)

$$\varphi = \frac{\pi}{180} * (derece) \quad (4.28)$$

$$\frac{D}{2} = arccos\left\{1 - \left[\frac{(0{,}0148 + sin\phi cos\ )}{cos\phi cos\delta}\right]\right\} \quad (4.29)$$

$$R_B = \left(0{,}2 + \frac{0{,}8n}{D}\right)\left(0{,}47 - 0{,}077\sqrt{e_a}\right) * \sigma * T_a^4 \quad (4.30)$$

Burada; σ Lummer Sabiti olup değeri 117,4*10^{-9} cal/cm^2*gün' dür.

Hesaplamalar sonunda ulaşılan sonuçlar

Optimizasyon modelinin oluşturulması kapsamında Penman-Monteith ve Penman denklemleri MS Excel ortamına aktarılarak buharlaşma değerlerinin Selevir Barajı için 2011-2015 yılları aralığında aylık buharlaşma değerleri aşağıdaki çizelgedeki gibi hesaplanmıştır.

Çizelge 4.1 Selevir baraj gölü aylık buharlaşma değerleri

	2011	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**
Ocak	0,00	0,00	7,65	16,95	0,00
Şubat	0,00	0,00	36,59	39,70	8,68
Mart	35,56	17,99	60,37	56,24	46,93
Nisan	76,91	117,23	97,58	109,99	68,64
Mayıs	121,36	135,83	164,78	141,00	147,20
Haziran	173,05	208,20	198,89	179,25	158,58
Temmuz	234,04	245,41	214,40	233,01	221,63
Ağustos	216,47	212,33	221,63	238,17	218,53
Eylül	182,35	190,62	165,81	169,95	206,13
Ekim	89,32	137,90	91,38	114,12	127,56
Kasım	9,72	68,64	69,67	51,07	69,67
Aralık	8,68	28,32	0,00	43,83	0,00

4.3.3 Bitki Su İhtiyacının Hesaplanması

Modelde Selevir Barajı sulama sahasındaki hâkim bitki desenine göre en çok ekimi yapılan ve su ihtiyacı görece diğerlerinden fazla olan yonca, şeker pancarı ve mısır bitkileri referans oluşturmak için seçilmiştir. Bu bitkilerin su ihtiyacının hesaplaması ise Blaney-Criddle yöntemi ile yapılmıştır.

Blaney-Criddle Yöntemi

Sıcaklık, yaygın meteoroloji istasyonları vasıtasıyla düzenli ölçülen ve basit şekilde ölçülebilen bir parametre olması dolayısıyla bitki su ihtiyacı hesaplamalarında kullanılan en temel iklimsel veridir. Bitki su ihtiyacı hesaplamalarında kullanılan temel yöntemlerden birisi olan bu yöntem, Blaney ve Criddle tarafından 1950 yılında geliştirilmiş olup, temel iklimsel verilere ihtiyaç duyması nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. (Cuenca 1989, Allen vd. 1989). Denklem şu şekildedir;

$$ET_0 = p.(0{,}46T_{ort} + 8) \tag{4.31}$$

$$T_{ort} = \frac{T_{maks}+T_{min}}{2} \quad (4.32)$$

Burada;

ET_0, Günlük potansiyel buharlaşma (mm/gün),

p, Gündüz saatlerinin gün içerisindeki oranı,

T_{ort}, ortalama sıcaklık(^oC),

T_{maks}, T_{min} maksimum ve minimum sıcaklıklar (^oC)

P değeri, bu denklem için enleme göre değişiklik göstermektedir. Ülkemizin enlem değerleri Kuzey 36^o 42^o arasında olduğundan ve Selevir Barajı enlemi 38^o 'ye tekabül ettiğinden tabloda ilave satır oluşturularak ara değerleme ile bu değerler belirlenmiş ve hesaplamalara o şekilde dahil edilmiştir.

Çizelge 4.2 Enleme göre gündüz saatlerinin gün içerisindeki oranları

Enlem	Ocak	Şub.	Mar.	Nis.	May.	Haz.	Tem.	Ağu.	Eylül	Ekim	Kas.	Ara.
60°	0,15	0,2	0,26	0,32	0,38	0,41	0,4	0,34	0,28	0,22	0,17	0,13
55	0,17	0,21	0,26	0,32	0,36	0,39	0,38	0,33	0,28	0,23	0,18	0,16
50	0,19	0,23	0,27	0,31	0,34	0,36	0,35	0,32	0,28	0,24	0,2	0,18
45	0,2	0,23	0,27	0,3	0,34	0,35	0,34	0,32	0,28	0,24	0,21	0,2
40	0,22	0,24	0,27	0,3	0,32	0,34	0,33	0,31	0,28	0,25	0,22	0,21
38° enl.	**0,224**	**0,244**	**0,27**	**0,296**	**0,316**	**0,332**	**0,326**	**0,306**	**0,28**	**0,25**	**0,224**	**0,214**
35	0,23	0,25	0,27	0,29	0,31	0,32	0,32	0,3	0,28	0,25	0,23	0,22
30	0,24	0,25	0,27	0,29	0,31	0,32	0,31	0,3	0,28	0,26	0,24	0,23
25	0,24	0,26	0,27	0,29	0,3	0,31	0,31	0,29	0,28	0,26	0,25	0,24
20	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,3	0,3	0,29	0,28	0,26	0,25	0,25
15	0,26	0,26	0,27	0,28	0,29	0,29	0,29	0,28	0,28	0,27	0,26	0,25
10	0,26	0,27	0,27	0,28	0,28	0,29	0,29	0,28	0,28	0,27	0,26	0,26
5	0,27	0,27	0,27	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,27	0,27	0,27
0	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27

Buna göre;

$$ET_{bitki} = ET_0 * k_c \quad (4.33)$$

Burada;

ET_{bitki}, bitki su ihtiyacı (mm/gün),

ET_0 =potansiyel buharlaşma miktarı (mm/gün),

kc, bitki faktörüdür.

Bitki faktörü kc, bitki türü, yetişme süresi ve hava durumuna bağlı olarak değişmekle birlikte hali hazır tablolardan her bitki için tespit edilir. kc değeri her ay için bitkinin yetişme dönemine bağlı olarak aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$k_c = \left(\frac{Dönem\ gün\ sayısı}{Ayın\ gün\ sayısı} * Döneme\ ait\ k_c\ katsayısı\right) \quad (4.34)$$

Hesaplamalar sonunda ulaşılan sonuçlar

Selevir Barajı sulama sahasındaki seçilmiş bitkiler için 2011-2015 yılları aralığında aylık bitki su ihtiyacı miktarları aşağıdaki çizelgelerdeki gibi hesaplanmıştır.

Çizelge 4.3 Yonca bitkisine ait aylık su ihtiyacı değerleri

Et_{bitki} Yonca												
YIL	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Tem.	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
2011	0,00	0,00	0,00	95,32	127,07	163,52	192,17	180,20	142,01	73,59	0,00	0,00
2012	0,00	0,00	0,00	109,40	132,86	179,10	197,25	178,39	145,12	86,13	0,00	0,00
2013	0,00	0,00	0,00	102,54	144,46	174,98	183,39	182,45	135,80	74,13	0,00	0,00
2014	0,00	0,00	0,00	106,87	134,93	166,27	191,71	189,68	137,36	80,00	0,00	0,00
2015	0,00	0,00	0,00	92,43	137,42	157,11	186,63	181,10	150,94	83,46	0,00	0,00

Çizelge 4.4 Pancar bitkisine ait aylık su ihtiyacı değerleri

Et_{bitki} Pancar												
YIL	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temm.	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
2011	0,00	0,00	0,00	68,15	101,81	145,38	178,44	207,80	118,04	0,00	0,00	0,00
2012	0,00	0,00	0,00	78,22	106,45	159,23	183,16	205,71	120,62	0,00	0,00	0,00
2013	0,00	0,00	0,00	73,31	115,74	155,57	170,29	210,40	112,87	0,00	0,00	0,00
2014	0,00	0,00	0,00	76,41	108,11	147,83	178,01	218,74	114,16	0,00	0,00	0,00
2015	0,00	0,00	0,00	66,08	110,10	139,68	173,29	208,84	125,46	0,00	0,00	0,00

Çizelge 4.5 Mısır bitkisine ait aylık su ihtiyacı değerleri

Et_{bitki} Mısır												
YIL	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temm.	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
2011	0,00	0,00	0,00	36,09	52,19	77,29	79,95	51,03	0,00	0,00	0,00	0,00
2012	0,00	0,00	0,00	28,13	40,68	60,25	62,32	39,78	0,00	0,00	0,00	0,00
2013	0,00	0,00	0,00	38,23	55,27	81,87	84,68	54,05	0,00	0,00	0,00	0,00
2014	0,00	0,00	0,00	39,98	57,80	85,61	88,55	56,52	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	0,00	0,00	0,00	35,51	51,34	76,05	78,66	50,21	0,00	0,00	0,00	0,00

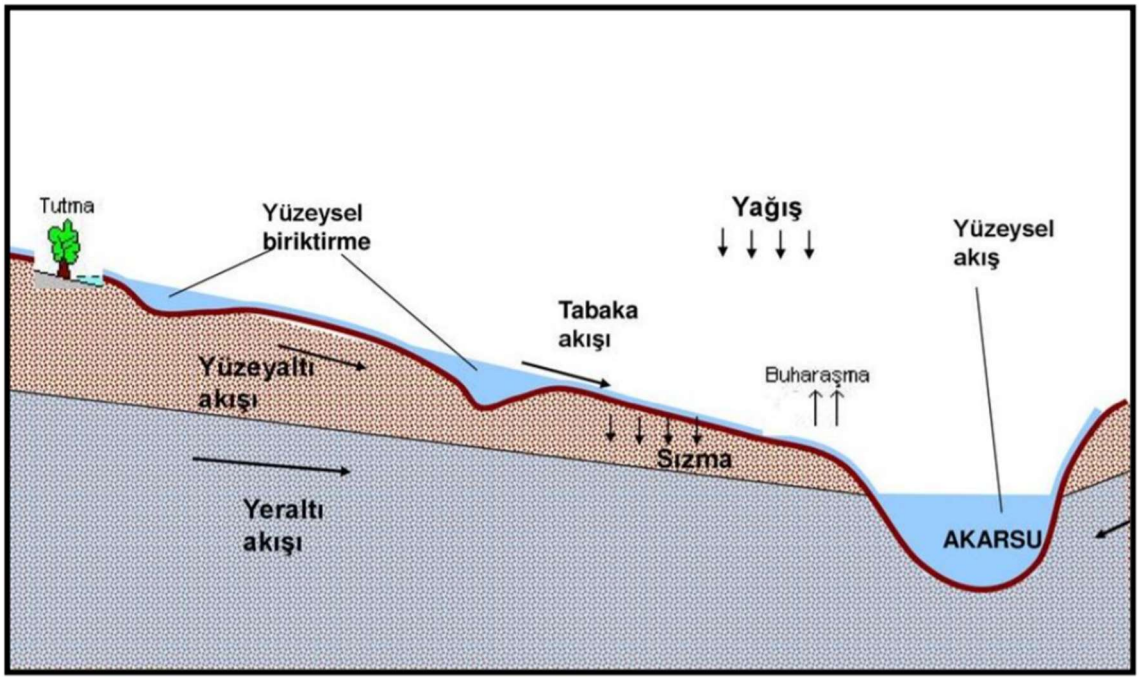
4.4 Sabit Verilerin Belirlenmesi

- Ah: Havza alanı (hm^2);
  Selevir Baraj Gölü havza alanı = 49000 hm^2
- Maxha: Maksimum göl hacmi (hm^3);
  Göl kotunun 1095 m olduğu seviye için 74 hm^3'tür.
- Minha: Minimum göl hacmi (hm^3);
  Göl kotunun 1073 m olduğu seviye için 1,15 hm^3'tür.
- Maxh: Maksimum göl yüksekliği (m);
  Göl kotunun 1095 m olduğu seviye için 29,6 m'dir.
- Minh: Minimum göl yüksekliği (m);
  Göl kotunun 1073 m olduğu seviye için 9,6 m'dir.
- gtk: Göl taban kotu (m);
  Selevir Baraj Gölü Taban kotu= 1065,40 m'dir.
- c: Yüzeysel akış katsayısı
  Yüzeysel akış katsayısı 0,76 olarak alınmıştır. 4.4.1 başlığında detaylandırılmıştır.
- tahliyemax: Dolusavak yardımı ile salınabilecek maksimum su miktarı (hm^3/ay);
  Q=1451 hm^3/ay'dır. (Tesis tanıtım föyünden)
- GBaH: İlk anda gölde bulunan hacim (hm^3);
  2011 Yılı Ocak ayı yılbaşında, 1086,81 m seviyesindeki hacim olan 32,56 hm^3 olarak alınmıştır.
- BEAmax: Ekim yapılacak maksimum alan (ha);
  Selevir Sulama yenilemesi projesinde belirlenmiş olan 8759,4 ha alan alınmıştır.

- BEAmin: Ekim yapılacak minimum alan (ha);
  2018 yılı sulama sonuçlarına göre fiilen sulanan alan olan 812,5 ha alınmıştır.
- DEY: Yağış değişiklik katsayısı;
  Yağışların mevsim normallerinin üzerinde olması halinde 1'den fazla, Yağışların mevsim normallerinin altında olması halinde 1'den az bir değer verilmektedir. Yağış normallerinde değer 1 olmaktadır.

4.4.1 Yüzeysel Akış Katsayısının Hesaplanması

Yağmur, kar ve dolu olarak toprak yüzeyine düşen yağışın infiltrasyon ve buharlaşma ile kaybolan miktarından geriye kalan ve arazinin eğimine uyarak akan kısmına yüzeysel akış adı verilmektedir. Yağışlar, yağış havzasının büyüklüğü, yağış havzasının şekli, yağış havzasının topoğrafyası, yağış havzasının jeolojisi, yağış havzasının infiltrasyon durumu, yağış havzasının bitki örtüsü, yağış havzasının yüzeyde su tutma durumu ve yağış havzasının yağış anındaki durumu yüzeysel akışa etki eden faktörlerdir.

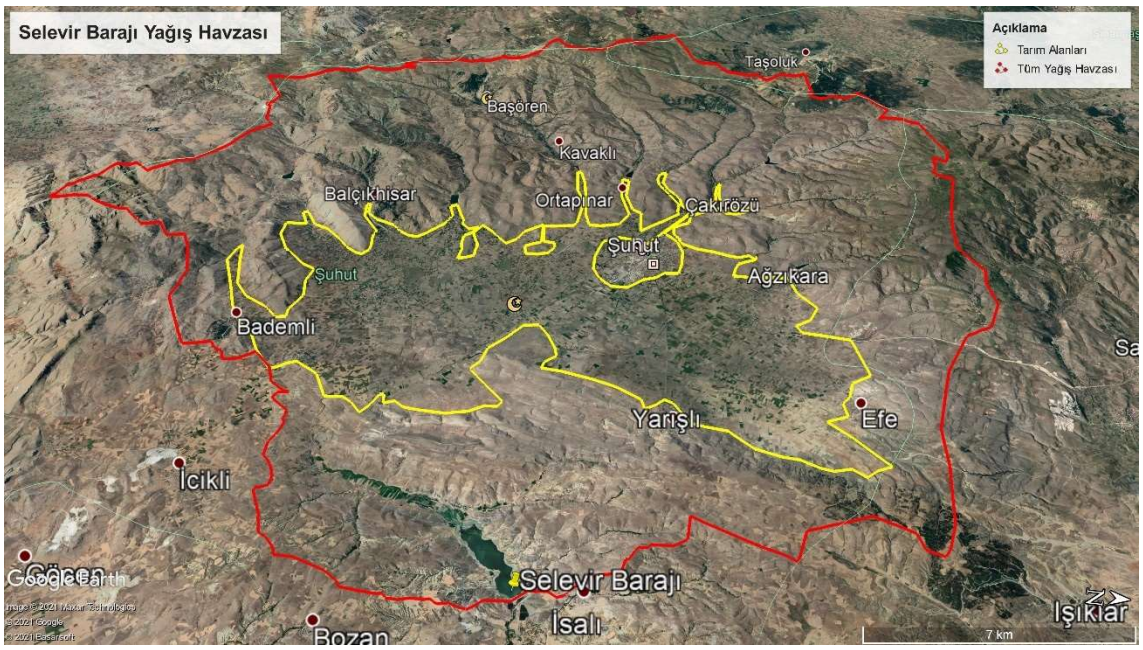


Şekil 4.4 Yağışların akışa geçmesine etki eden faktörler (İnt. Kyn. 6).

Akış katsayısı (C), zeminin geçirimliliğine, havzanın eğimine ve bitki örtüsüne bağlı olarak belirlenmiştir ve 0,05-0,95 arasında değişmektedir. Genel kabul görmüş katsayılar şu şekildedir (İnt. Kyn. 7).

Çizelge 4.6 Havza özelliklerine göre yüzeysel akış katsayısı değerleri

Havzanın Özelliği	C Katsayısı	
	Düz Zemin	Eğimli Zemin
Ormanlık Bölgeler	0,05	0,20
Otla kaplı bölgeler (kumlu zemin)	0,05	0,20
Otla kaplı bölgeler (az geçirimli zemin)	0,13	0,35
Yerleşme bölgeleri (ayrık nizam)	0,30	0,60
Yerleşme bölgeleri (bitişik nizam)	0,60	0,75
İş ve endüstri bölgeleri (seyrek)	0,50	0,70
İş ve endüstri bölgeleri (seyrek)	0,70	0,95
Yollar	0,70	0,95



Şekil 4.5 Selevir barajı yağış havzası (Google Earth programı üzerinden).

Çalışma bölgemizdeki alanların yaklaşık %21,70 i tarım arazilerinden oluşmakta olup kalan kısımlar ağaçsız dağlık alan olarak nitelendirilmektedir. Bu kabule göre yapılan ara değerleme hesabına göre katsayımız 0,76 olarak tespit edilmiştir.

4.5 Değişkenlerin Tanımlanması

Sabit verilen tanımlanması akabinde ve denklem ve kısıtların tanımlanması öncesinde bu denklemlerde yer alan değişkenlerin tanımlanması gerekmektedir. GAMS, amaç fonksiyonunu maksimize veya minimize ederek aşağıda listelenen değişkenlerin en optimum değerlerini hesaplamaktadır. Listede verilmiş hacim değişkenleri hm^3, kotlar m, bitki su ihtiyaçları mm, alanlar ha ve parasal değerler de milyon TL olarak tanımlanmıştır.

Modelde yer alan pozitif değişkenler:

- Vg(A,Y) Güncel Hacim
- VgB(A,Y) Selevir Göleti Hacmi
- GBH(Y) Yıl Başı Göl Hacmi
- QGA(A,Y) Göl Alanı Üzerine Düşen Yağış İle Gelen Hacim
- BEAYonca(Y) Yonca Bitkisi için Bitki Ekim Alanı
- BEAPancar(Y) Pancar Bitkisi için Bitki Ekim Alanı
- BEAMisir(Y) Mısır Bitkisi için Bitki Ekim Alanı
- hBSI(A,Y) Toplam su ihtiyacından gelen yağış çıkarılınca kalan ihtiyaç
- QET(A,Y) Buharlaşma İle Giden Hacim
- QSLM(A,Y) Sulama İçin Gölden Çekilebilecek Toplam Hacim
- QSLMyonca(A,Y) Yonca Bitkisi İçin Gölden Çekilebilecek Toplam Hacim
- QSLMpancar(A,Y) Pancar Bitkisi İçin Gölden Çekilebilecek Toplam Hacim
- QSLMmisir(A,Y) Mısır Bitkisi İçin Gölden Çekilebilecek Toplam Hacim
- SLMM(A,Y) Sulama suyu birim maliyeti
- hBSIYonca(A,Y) Yonca İçin Gölden karşılanması gereken bitki su ihtiyacı
- hBSIPancar(A,Y) Pancar İçin Gölden karşılanması gereken bitki su ihtiyacı
- hBSIMisir(A,Y) Mısır İçin Gölden karşılanması gereken bitki su ihtiyacı
- QSAL(A,Y) Salınan Su Hacmi(Salınabilecek Su Hacmi)
- QTAS(A,Y) Taşkın Hacmi

- Ag(A,Y) Aylık Ortalama Göl Alanı
- h(A,Y) Aylık Ortalama Göl Yüksekliği
- gyk(A,Y) Göl Yüzeyi kotu
- *tBEA(Y) Bitki Ekim Alanı
- Gelen(A,Y) Gelen Hacimler
- Giden(A,Y) Giden Hacimler
- BEAFY Yonca Bitki Ekim Alanı Getirisi
- BEAFP Pancar Bitki Ekim Alanı Getirisi
- BEAFM Mısır Bitki Ekim Alanı Getirisi
- QSLMM Sulama Suyu Maliyeti
- TASZ Taşkın Maliyeti
- QSALM Salınan Su Maliyeti
- KURUTF Kuru tarım Getirisi
- BIRZ Biriken su maliyetini
- hBSIy(A,Y) Yonca bitkisi su ihtiyacı yüksekliği
- hBSIp(A,Y) Pancar bitkisi su ihtiyacı yüksekliği
- hBSIm(A,Y) Mısır bitkisi su ihtiyacı yüksekliği
- KURUTARIMBEA(Y) Kuru tarım yapılan bitki ekim alanı

Modelde yer alan serbest değişkenler:

- FAYDA: Amaç denklemi ile elde edilen sayısal değerdir.

4.6 Denklemler ve Kısıtların Tanımlanması

Sabit ve değişken verilerinin tanımlanmasının ardından model içinde çözülmesi gereken denklemler ile bu denklemlere ait kısıtlar tanımlanmaktadır.

- Göl başlangıç hacmi denklemi VgDb1(A,Y), VgDb2(A,Y);

Model başlangıcında ilk yılın ilk ayındaki göl hacmi sabit veriler başlığında da belirtilen bir değer olup denklemi şu şekildedir;

VgDb1(A,Y)$((ORD(Y) eq 1) and (ORD(A) eq 1)).. GBH(Y)=e=GBaH; (4.35)

Burada;

"VgDb1(A,Y)" ile belirtilen ve $ faktöründen önceki kısım denklem adını,

"((ORD(Y) eq 1) and (ORD(A) eq 1))" ile belirtilen kısım bu denklem için aranan koşulu,

"GBH(Y)=e=GBaH" ile belirtilen kısım ise koşulun sağlanması halinde yapılacak işlemi,

Ayrıca

VgDb1(A,Y), Başlangıç hacim denklemini,

ORD(Y) ve ORD(A) eq 1, Ordinatı 1 e eşit olan yılı veya ayı,

GBH(Y), Göl Başlangıç hacmini,

GBaH, O aya ait göl başlangıç hacmini ifade etmektedir.

İkinci yıldan itibaren başlangıç hacmi bir önceki yılın son ay sonundaki göl hacmine eşit olacağından denklemi şu şekildedir:

$$VgDb2(A,Y)\$((ORD(Y)\ ne\ 1)\ and\ (ORD(A)\ eq\ 1))..GBH(Y) = e = Vg(A+11, Y-1); \quad (4.36)$$

Burada;

Vg(A+11, Y-1), Her yıl başında bir önceki yılın son ayına ait göl hacmini ifade eder.

- Su Bütçesi Denklemi VgD1(A,Y), VgD2(A,Y)

Başlangıç ayında su bütçesi başlangıç hacmi ile gelen hacimlerin toplanması ve giden hacimlerin çıkarılması suretiyle hesaplandığından denklemi şu şekildedir

$$VgD1(A,Y)\$((ord(A)\ eq\ 1))..Vg(A,Y) = e = GBH(Y) + Gelen(A,Y) - Giden(A,Y); \quad (4.37)$$

Burada;

Gelen(A,Y), Giden(A,Y), Gelen ve giden hacimleri ifade eder.

Sonraki aylarda ise başlangıç hacmi yerine bir önceki aydan devreden hacim kullanılacağından denklemi şu şekilde olacaktır.

$$VgD2(A,Y)\$((ord(A)\ ne\ 1))..Vg(A,Y) = e = Gelen(A,Y) - Giden(A,Y) + Vg(A-1,Y); \quad (4.38)$$

- Gelen ve Giden Hacimler Denklemi GelenD(A,Y), GidenD(A,Y);

Gelen hacimler yüzeysel akış ile gelen hacimleri ve doğrudan göl yüzeyine yağış ile düşen hacmi ifade etmektedir. Denklemi şu şekildedir:

$$GelenD(A,Y)..Gelen(A,Y) = e = QYA(A,Y) + QGA(A,Y); \quad (4.39)$$

Burada;
QYA(A,Y), Yüzeysel akış ile gelen hacmi,
QGA(A,Y), Göl üzerine düşen yağış ile gelen hacmi ifade eder.

Giden hacimler ise sulama için çekilen su miktarı ile buharlaşma yoluyla kaybolan su miktarını ifade etmektedir.

$$GidenD(A,Y)..Giden(A,Y) = e = QET(A,Y) + QSLM(A,Y); \quad (4.40)$$

- Göl Hacmi Denklemi VgBD(A,Y);

Göl hacmi denklemi su bütçesi denklemi ile hesaplanmış miktardan varsa salınan su miktarı ve taşkın suyu miktarının çıkarılması yoluyla hesaplanan güncel hacim değeri olup denklemi şu şekildedir:

$$VgBD(A,Y)..VgB(A,Y) = e = Vg(A,Y) - QSAL(A,Y) - QTAS(A,Y); \quad (4.41)$$

- Göl Alanı Üzerine Düşen Yağış Hacmi QGAD(A,Y);

Tablo şeklinde verilmiş olan aylık yağış yüksekliği verilerinin o aya ait göl yüzey alanı ile çarpılması sonucu hesaplanan yağış hacmidir ve denklemi aşağıdaki gibidir. Ayrıca denklem içinde yağış değişiklik katsayısı da dahil edilmiş olup yağışların mevsim normallerinde olup olmadığına göre senaryo çalışmalarında kullanılacaktır. Yağışların mevsim normallerinde olması durumunda bu katsayı 1 olarak alınacaktır.

$$QGAD(A,Y)..QGA(A,Y) = e = (ya(A,Y) * DEY) * (0.00001) * Ag(A,Y); \quad (4.42)$$

- Göl Yüzey Kotu gykd(A,Y);

Göl taban kotuna o aya ait su yüksekliğinin eklenmesi ile hesaplanmaktadır. Denklemi şu şekildedir:

$$gykd(A,Y)..gyk(A,Y) = e = gtk + h(A,Y); \quad (4.43)$$

- Göl Yüzeyi Buharlaşma Hacmi QETD(A,Y);

GAMS dışında Penman yöntemi kullanılarak hesaplanmış verilerden (Çizelge 4.1) o aya ait olanın yine o aya ait göl yüzey alanı ile çarpılması ile hesaplanmaktadır.

$$QETD(A,Y)..QET(A,Y) = e = bh(A,Y) * (0.00001) * Ag(A,Y); \quad (4.44)$$

- Toplam Bitki Ekim Alanı tBEAD(A,Y);

Model çalışması için Selevir sulama sahasında en fazla tarımı yapılan ve referans olarak seçilen bitkilere ait ekim alanları ve sulu tarım yapılamayan alan varsa bu alanın toplanması ile hesaplanmaktadır. Bu toplam maksimum bitki ekim alanı miktarını geçemeyeceğinden dolayı aynı zamanda bir kısıt olarak ta çalışmaktadır. Denklemi şu şekildedir:

$$tBEAD(A,Y)..BEAmax = e = (BEAYonca(Y) + BEAPancar(Y) + BEAMisir(Y) + KURUTARIMBEA(Y)); \quad (4.45)$$

- Sulama Suyu Hacmi QSLMDyonca(A,Y), QSLMDpancar(A,Y), QSLMDmisir(A,Y);

Seçilmiş her bir bitki için ayrı ayrı hesaplanmakta olup yine GAMS dışında Blaney-Criddle denklemleri ile hesaplanan bitki su ihtiyacı değerleriyle o bitkiye ait ekim alanının çarpılması ile bulunurlar.

$$QSLMDyonca(A,Y)..QSLMyonca(A,Y) = e = (BEAYonca(Y) * hBSIy(A,Y)) * 0.00001; \quad (4.46)$$
$$QSLMDpancar(A,Y)..QSLMpancar(A,Y) = e = (BEAPancar(Y) * hBSIp(A,Y)) * 0.00001; \quad (4.47)$$
$$QSLMDmisir(A,Y)..QSLMmisir(A,Y) = e = (BEAMisir(Y) * hBSIm(A,Y)) * 0.00001; \quad (4.48)$$

Bu sayede toplam sulama suyu ihtiyacı denklemi şu şekilde olmaktadır:

$$QSLMD(A,Y)..QSLM(A,Y) = e = QSLMyonca(A,Y) + QSLMpancar(A,Y) + QSLMmisir(A,Y); \quad (4.49)$$

Bununla birlikte eğer aylık bitki su ihtiyacı aylık yağış miktarından az ise bu ihtiyacın yağış tarafından karşılanabileceğini, dolayısı ile gölden su çekilmesine ihtiyaç olmadığını gösterirken, tam tersi durumda da bitki su ihtiyacının aylık yağış miktarından fazla olan kısmı gölden karşılanacağını ifade etmek gerekmektedir. Her bir bitki için ayrı ayrı şu şekilde hesaplanmaktadır:

*hBSID1(A,Y)$((bsiYonca(A,Y)-ya(A,Y)) > 0)..hBSIy(A,Y)=e= bsiYonca(A,Y)-(DEY*ya(A,Y));*
hBSID2(A,Y)$((bsiYonca(A,Y)-ya(A,Y)) < 0)..hBSIy(A,Y)=e= 0; (4.50)

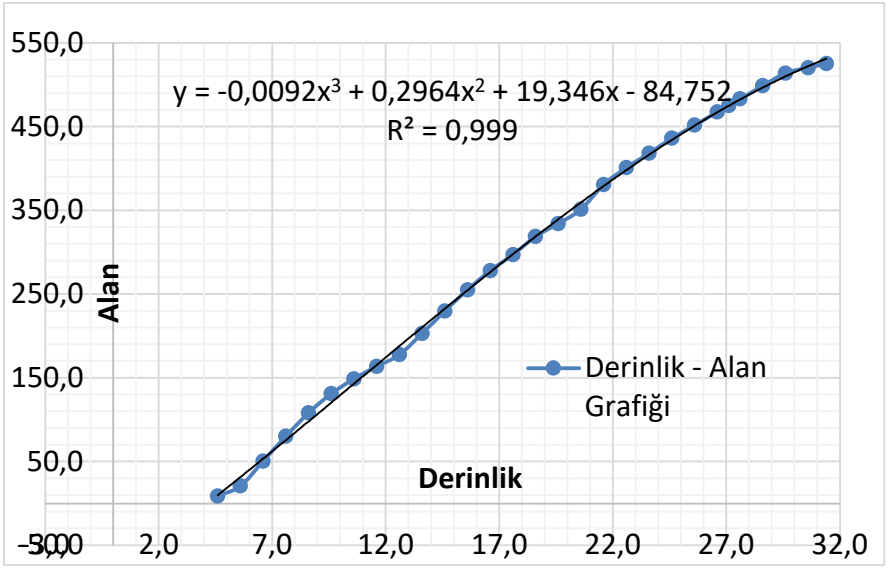
*hBSID3(A,Y)$((bsiPancar(A,Y)-ya(A,Y)) > 0)..hBSIp(A,Y)=e= bsiPancar(A,Y)-(DEY*ya(A,Y));*
hBSID4(A,Y)$((bsiPancar(A,Y)-ya(A,Y)) < 0)..hBSIp(A,Y)=e= 0; (4.51)

*hBSID5(A,Y)$((bsiMisir(A,Y)-ya(A,Y)) > 0)..hBSIm(A,Y)=e= bsiMisir(A,Y)-(DEY*ya(A,Y));*
hBSID6(A,Y)$((bsiMisir(A,Y)-ya(A,Y)) < 0)..hBSIm(A,Y)=e= 0; (4.52)

- Göl Yüzey Alanı ve Göl Derinliği Arasındaki ilişki AgD(A,Y);

Hesaplamalarda kullanılmak üzere göl yüzey alanı ile derinlik arasındaki bağıntıya ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak baraj gölü derinlik alan diyagramları doğrusal olmamaktadır. Dolayısı ile bu değerleri denklem şeklinde ifade edebilmek için Excel programından destek alınmış ve derinlik alan diyagramı doğrusal olmayan bir denklem haline çevrilmiştir.

$$AgD(A,Y)..Ag(A,Y) = e = ((-0.0092 * (h(A,Y) * h(A,Y) * h(A,Y))) + 0.2964 * h(A,Y) * h(A,Y) + 19.346 * h(A,Y) - 84.752); \quad (4.53)$$

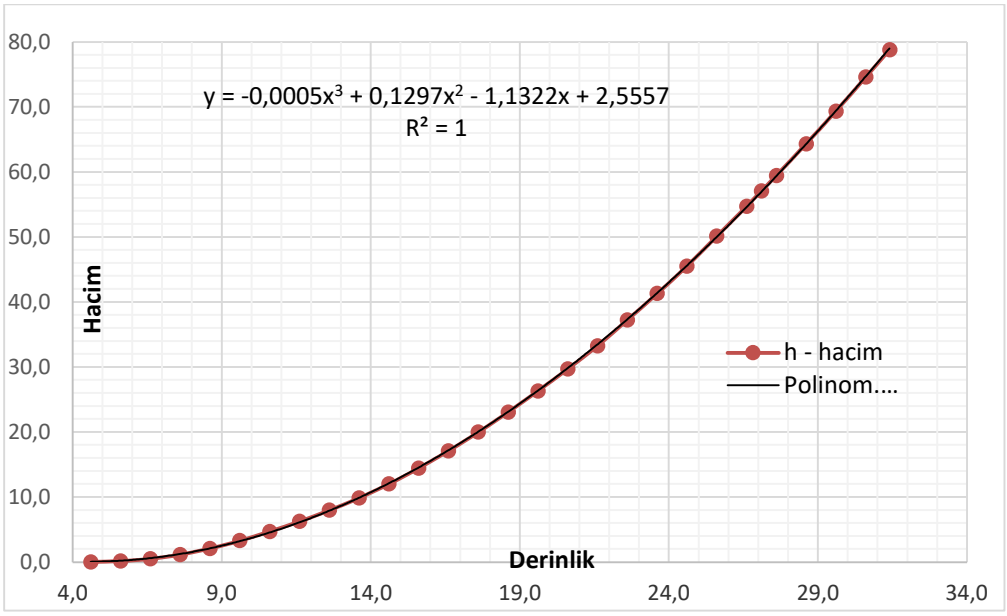


Şekil 4.6 Selevir baraj gölü derinlik alan ilişkisi

- Göl Hacmi ve Göl Derinliği Arasındaki İlişki HgD(A,Y);

Baraj gölü su derinliği – göl yüzey alanı ilişkisindeki gibi derinlik – hacim diyagramı da doğrusal değildir. Grafik benzer olarak Excel programında oluşturulmuş ve denklem belirlenmiştir. Şöyle ki:

$$HgD(A,Y)..VgB(A,Y) = e = ((-0.0005 * h(A,Y) * h(A,Y) * h(A,Y)) + (0.1297 * h(A,Y) * h(A,Y)) - (1.1322 * h(A,Y)) + 2.5557); \quad (4.54)$$



Şekil 4.7 Selevir baraj gölü derinlik hacim ilişkisi

- Fayda Fonksiyonu Denklemi:

Modelleme çalışmasında maksimize edilen ve hedefimizi temsil eden fonksiyon denklemi şu şekildedir:

$$OBJECTIVE..FAYDA = e = (BEAFY) + (BEAFP) + (BEAFM) + (KURUTF) - (BIRZ) - (QSLMM) - (TASZ) - (QSALM); \quad (4.55)$$

Burada;
BEAFY, Yonca bitkisi için ekim alanı getirisi,
BEAFP, Pancar bitkisi için ekim alanı getirisi,
BEAFM, Mısır bitkisi için ekim alanı getirisini,
KURUTF, Sulama yapılamayan alanlardaki kuru tarım getirisini,
QSLMM, Sulama suyu maliyetini,
TASZ, Taşkın zararlarını,
QSALM, Dolusavaktan salınan su maliyetini
BIRZ, Rezervuarda kullanılmadan biriktirilen su maliyetini ifade etmektedir.

Sulu Tarım Getirisi;

Bitki ekim alanı getirisi her yıl başında GAMS modellemesi tarafından belirlenen ekim alanı ile hektar başına elde edilen kazancın çarpılması yoluyla hesaplanan yıllık kazancın her bir bitki için yapıldıktan sonra toplanması ile hesaplanmaktadır. Her bir bitki için birim alan başına getiri piyasa araştırması sonucu elde edilen değerlerdir. Denklemler şu şekildedir:

$$\begin{aligned} BEAFYD..BEAFY &= e = (sum((Y), BEAYonca(Y))) * 0.0024; \\ BEAFPD..BEAFP &= e = (sum((Y), BEAPancar(Y))) * 0.0018; \\ BEAFMD..BEAFM &= e = (sum((Y), BEAMisir(Y))) * 0.0018; \end{aligned} \quad (4.56)$$

Sulama Maliyeti

Her bir ay için tespiti yapılan sulama suyu miktarının birim maliyeti ile çarpılarak toplanması şeklinde hesaplanmaktadır. Birim maliyet Selevir Sulama birliğinin sene başında belirlediği su kullanım ücreti olarak kabul edilmiştir. Modeldeki yeri şöyledir:

$$QSLMMD..QSLMM = e = (sum((A,Y),(QSLM(A,Y) * SLMM(A,Y))));$$
$$SLMMD(A,Y)..SLMM(A,Y) = e = 0.047546; \quad (4.57)$$

Taşkın Zararı

Olası taşkın durumunda her bir hm³ taşkın hacmi için oluşacak zararın toplanması ile hesaplanmaktadır.

$$TASZD..TASZ = e = (sum((A,Y), QTAS(A,Y))) * 1000; \quad (4.58)$$

Salınan Su Maliyeti

Baraj gölünün maksimum kapasiteye ulaşması sonucunda dolu savak yoluyla tahliye edilen ve faydalı olarak kullanılamayacak olan suyun maliyetidir. Tahliye edilen su miktarı ile birim maliyetinin çarpılması yoluyla hesaplanır.

$$QSALMD..QSALM = e = (sum((A,Y), QSAL(A,Y))) * 0.09047; \quad (4.59)$$

Kuru Tarım Getirisi

Sulu tarımın yapılamadığı alanlarda yapılan kuru tarım yapıldığı varsayımı ile elde edilen gelirlerin toplanması ile hesaplanmaktadır.

$$KURUTFD..KURUTF = e = (sum((Y), KURUTARIMBEA(Y))) * 0.0003375; \quad (4.60)$$

Biriken Su Maliyeti

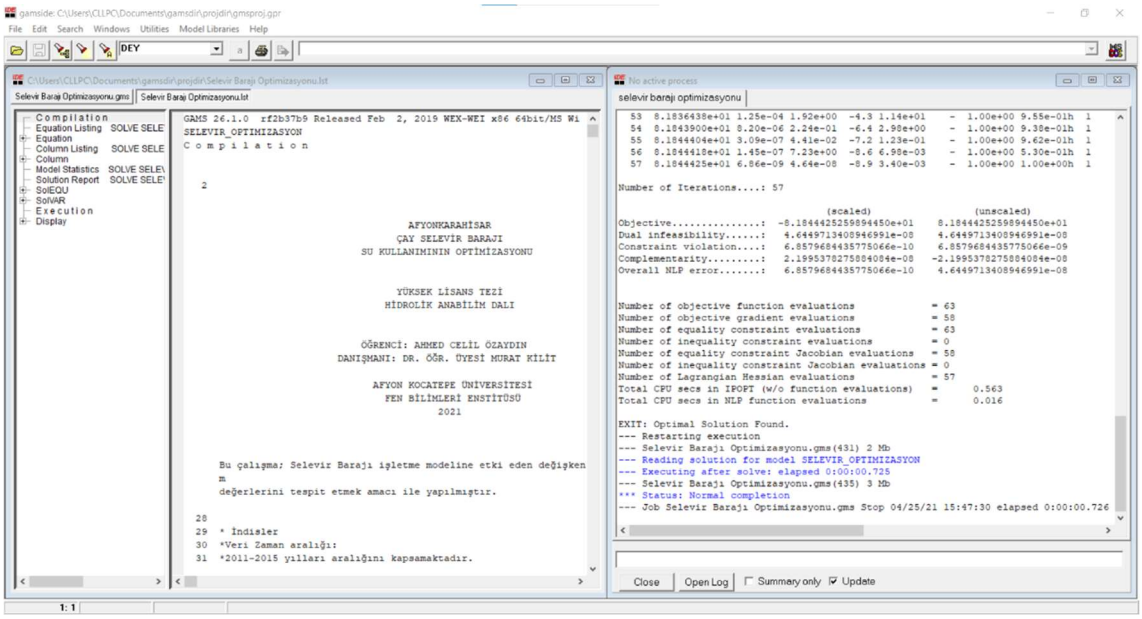
Model tüm süreci ele aldığında bazı yılların bitki ekim alanının arttırılabilmesi amacıyla önceki yıllarda sadece kuru tarım seçimi yapmaması için bir biriken su maliyeti eklenmiştir ki rezervuardaki su tümüyle sulamaya aktarılabilsin. Denklemi şu şekildedir:

$$BIRZD..BIRZ = e = (sum((A,Y), Vg(A,Y) * 0.005)); \quad (4.61)$$

5. MODEL SONUÇLARININ ANALİZİ

5.1 Mevcut İklim Koşullarına Göre Oluşturulan Modelleme Sonuçları

Selevir Baraj Gölü için oluşturulan model üzerinde verilerde yapılacak değişikliklerle farklı senaryolar üretilebilir ve çözülebilir. Ekilebilir alanın değiştirilmesi, faklı iklim koşulları değerlerinin kullanılması ya da bitki deseninin değiştirilmesi ile çok çeşitli sonuçlar üretilebilmektedir. GAMS programı da kendi içindeki çözücüler vasıtası ile modelde oluşturduğumuz fayda fonksiyonunu optimize etmiş ve tüm çıktılar için optimum sonucu elde etmiştir.



Şekil 5.1 Selevir barajı modelleme sonuç raporu

Sonuç raporunda gösterilen ve optimum değerleri hesaplanmış olan parametreler şunlardır:

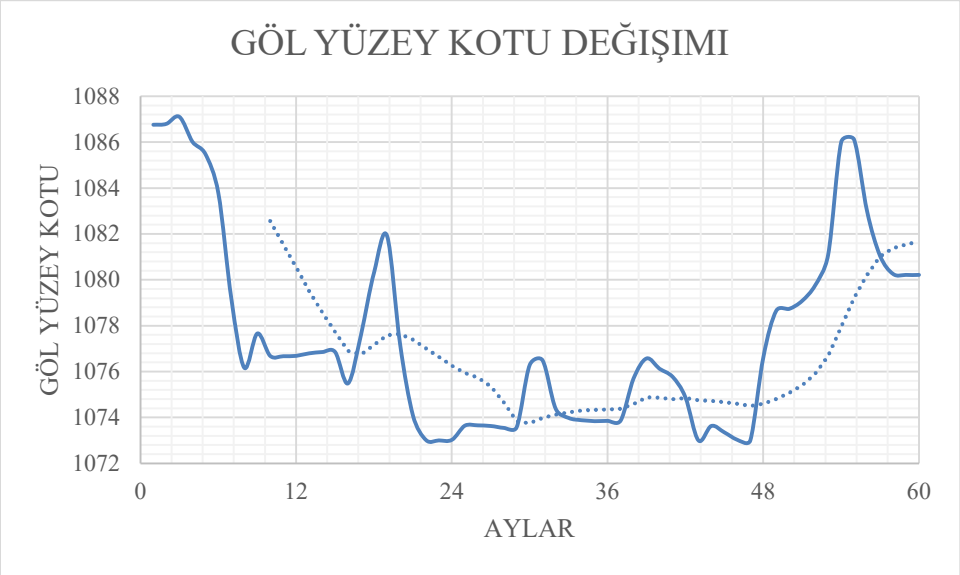
- VgB, Ortalama aylık göl hacmi,
- QGA, Göl üzerine doğrudan düşen yağış ile gelen hacim,
- QET, Buharlaşma ile çıkan hacim,
- QSLM, Sulama için kullanılan hacim,
- QSLMyonca, Yonca bitkisi için sulama hacmi,
- QSLMpancar, Pancar bitkisi için sulama hacmi,

- QSLMmisir, Mısır bitkisi için sulama hacmi
- Ag, Ortalama aylık göl alanı,
- H, Ortalama aylık göl derinliği,
- gyk, Ortalama aylık göl su yüzey kotu,
- BEAYonca. Yonca bitkisi için ekim alanı,
- BEAPancar, Pancar bitkisi için ekim alanı,
- BEAMisir, Mısır bitkisi için ekim alanı,
- KURUTARIMBEA, Kuru tarım yapılan bitki ekim alanı,
- QSAL, Salınma var ise salınan su hacmi,
- QTAS, Taşkın yaşanmış ise taşkın hacmi,
- FAYDA, Modelleme sonucunda elde edilen kâr ya da zarar,
- BEAFY, Yonca bitkisi için sulu tarım getirisi,
- BEAFP, Pancar bitkisi için sulu tarım getirisi,
- BEAFM, Mısır bitkisi için sulu tarım getirisi,
- QSLMM, Sulama maliyeti,
- QSALM, Salınan su maliyeti,
- TASZ, Taşkın zararı,
- KURUTF, Kuru tarım getirisi
- BIRZ, Biriken su maliyeti

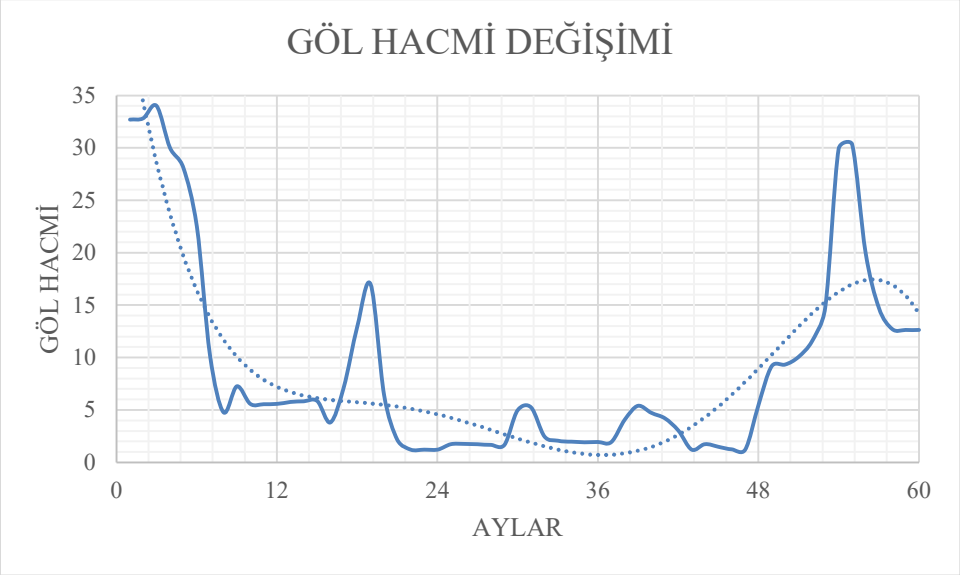
Bu modelde veri temini ve modelleme kolaylığı açısından 2011 – 2015 yılları arsındaki 60 aylık bir periyotta güncel veriler kullanılmıştır. Bu niteliği ile temel bir çalışma olup modelleme zamanı kullanıcının tercihine göre uzatılıp kısaltılabilme imkânı olacaktır.

Mevcut iklim koşulları ile yapılan modelleme çalışması için ilk yıl baraj gölü su seviyesi 2011 yılı ocak ayı değeri olan 1086,81 m kotu ve bu değere karşılık gelen 32,56 hm^3 hacim alınmıştır. Selevir Sulaması Yenilemesi Projesinde projelendirmesi yapılan 8759,40 ha alan maksimum sulanabilir alan seçilirken 2018 yılı sulama raporuna göre sulanabilmiş alan olan 812,5 ha alan da minimum sulanabilir alan olarak seçilmiştir. Yağış verileri otomatik meteoroloji istasyonlarından doğrudan alındığından yağış değişiklik katsayısı 1 olarak kabul edilmiştir. Yüzeysel akış katsayısı yapılan

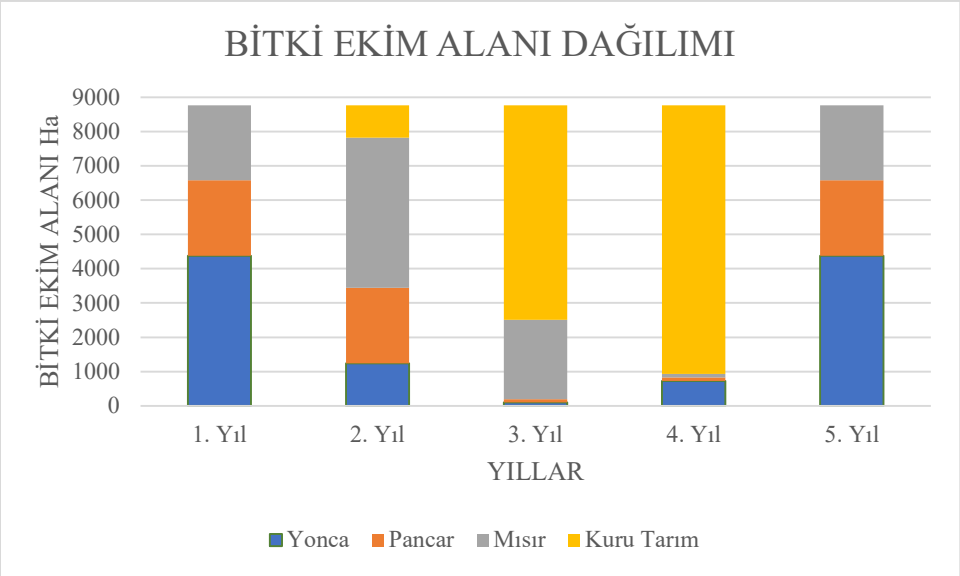
hesaplamalar neticesinde 0,76 olarak alınmıştır. Baraj gölünde biriken suyun tamamının sulamaya dahil edilebilmesi amacıyla bir maliyet katsayısı için iterasyon yapılmış ve 0,005 seçilmiştir. Modelleme çalışması sonucunda elde edilen çıktılara göre su seviyesi değişimi şekildeki gibi olmuştur.



Şekil 5.2 Mevcut iklim koşulları altında 60 aylık dönemde Selevir baraj gölü su seviye kotu değişimi



Şekil 5.3 Mevcut iklim koşulları altında 60 aylık dönemde Selevir baraj gölü hacim değişimi



Şekil 5.4 Mevcut iklim koşulları altında bitki ekim alanı dağılımı

Mevcut iklim şartları ve kullanım alışkanlıkları göz önüne bulundurularak yapılan modellemeye göre elde edilen sonuçlar şunlardır;

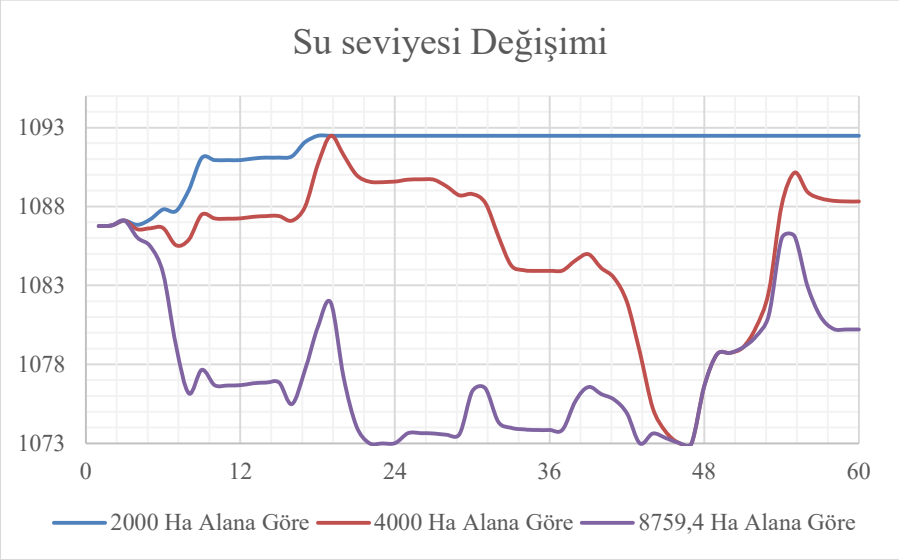
Modellemeye göre Selevir Baraj Gölü su seviye kotu ilk yılsonunda ani bir düşüş göstererek 1076 m seviyelerine inmektedir. Bu iniş trendi ilk 4 yılda devam etmekte ve minimum işletme kotu olan 1073 m seviyelerinde dolaşmaktadır. 5. Yılda ise yağışların artması kış yağışlarının artmasının etkisi görülerek kot 1086 m seviyelerine kadar çıkmaktadır. Ayrıca planlanan 8759,4 hektar sulu tarım arazisinin tamamı sulanamamaktadır. Tercih edilen bitki deseni sebebiyle 3. ve 4. Yıllarda büyük oranda kurum tarım yapılma zorunluluğu görülmektedir.

5.2 Farklı Senaryolar İçin Model Çıktıları

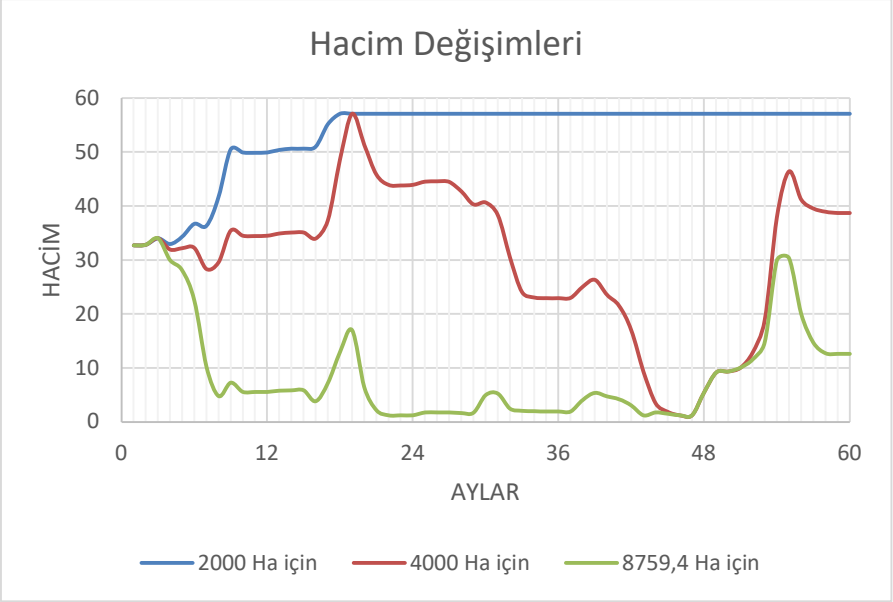
Model oluşturulması kısmında farklı senaryoların denenebilmesine olanak sağlamak için model içinde bazı tanımlamalar oluşturulmuştu. Bitki ekim alanı, yağış değişiklik katsayısı ve yüzeysel akış katsayısı gibi bu değişkenler kullanıcı tarafından değiştirilerek olası senaryolar denenebilmekte ve farklı sonuçlara ulaşılabilmektedir.

5.2.1 Farklı Bitki Ekim Alanları Seçilmesi Durumundaki Değişim

Bitki ekim alanı üst ve alt sınırı belirlenmesi modelleme esnasında minimum işletme seviyesinin altına inmeden ekim alanının tamamını sulamaya yöneliktir. Mevcut durumda bitki ekim alanı değeri 8759,4 hektardır. Diğer tüm değişkenler sabit tutularak bu alan 2000, 4000 ve 8759,4 hektar olarak değiştirilerek 5 yıllık periyottaki su yüzey kotu değişimi şu şekilde olmuştur:



Şekil 5.5 Farklı bitki ekim alanlarında yapılan modellemeye göre su yüzey kotu değişimi



Şekil 5.6 Farklı bitki ekim alanlarında yapılan modellemeye göre göl hacmi değişimi

Yağışların mevsim normallerinde seyredeceği kabulüne göre farklı bitki ekim alanları seçimiyle elde edilen sonuçlar şöyledir;

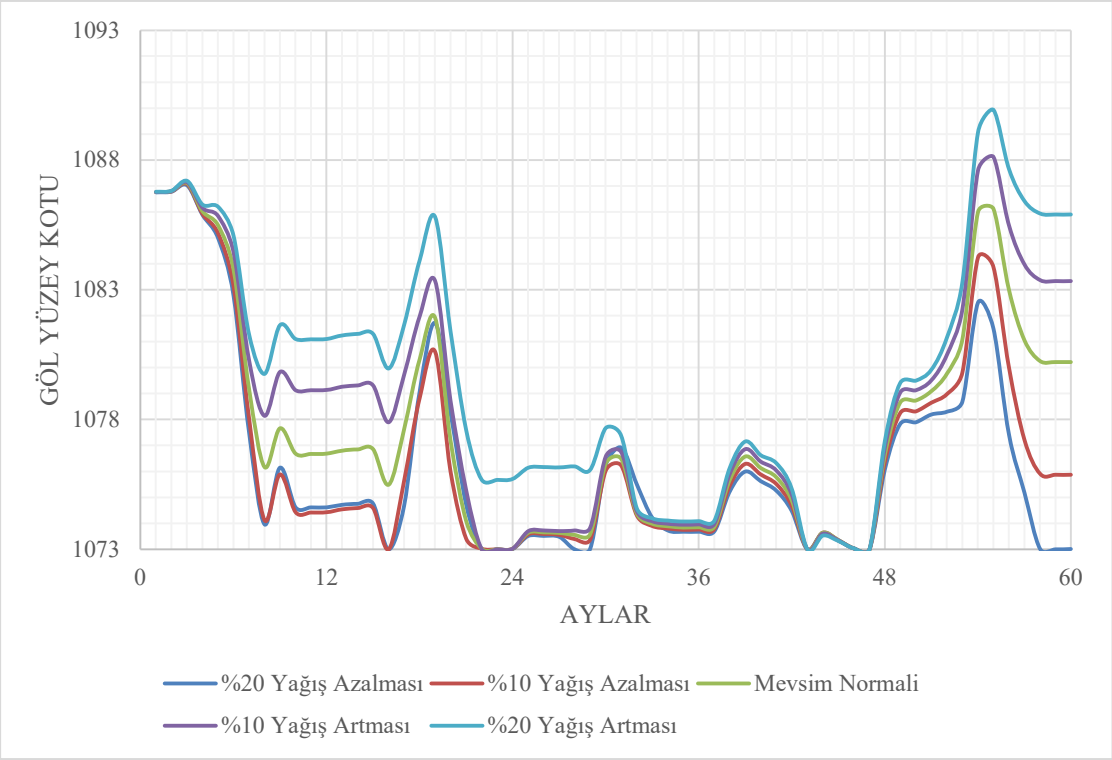
Projelendirilmiş sahanın tamamında ekim yapılmak istendiğinde su seviyesinin ilk yıl hızlı bir şekilde düşüş gösterdiği 1076 m seviyelerinde seyrettiği, yağış rejiminden kaynaklı olarak ta devam eden yıllarda 1073 m ile 1082 m kotları arasında dalgalandığı görülmektedir.

2000 ve 4000 hektarlık alanda ekim yapıldığında tüm arazilerin sulanabildiği görülürken 8759,4 hektar alanda ekim yapıldığında özellikle 3. ve 4. senelerde su miktarının yetersiz kaldığı görülmektedir.

Ekim alanı 2000 ha olduğu durumda 19. Aydan sonra su seviyesinin maksimum kot olan 1092,5 m seviyesine eriştiği ve fazla suyun dolu savak aracılığıyla tahliye edildiği, 5 yıllık periyot sonuna kadar da bu şekilde devam ettiği görülmektedir. Ancak diğer koşullar altında su tahliyesi gerçekleşmemiş, bununla birlikte 8759,4 ha ekim durumunda 23, 43 ve 47. aylarda su tamamen tüketilerek minimum işletme seviyesine inmiştir.

5.2.2 Farklı Yağış Durumlarında Değişim

Model tanımlamalarında sabit veri olarak tanımlanan yağış değişiklik katsayısı “DEY” mevsim normalleri koşulunda 1 olarak alınmaktadır. Bu katsayıya farklı değerler verilerek yaşanabilecek düzensiz yağışların göl hacmi ve su seviyesine etkileri incelenebilecektir. Sulama alanı planlandığı gibi 8759,4 ha alınarak ve diğer değişkenler sabit tutulmak kaydıyla yağış değişikliklerinin etkileri şu şekildedir.



Şekil 5.7 Göl yüzey kotunun yağış miktarlarına göre değişimi

Yağışların mevsim normallerinin %20 altına düşmesi halinde su seviyesinde görülen düşüşün daha da arttığı ve 60 aylık periyot içinde 6 seferde toplam 12 ay minimum seviye olan 1073 m kotunda kaldığı görülmektedir. Mevcut koşullara göre sulanan arazilerin ortalama %19 daha az bir alanda kısıntısız sulu tarım yapılabileceğini göstermiştir.

Yağışların mevsim normallerinin %20 fazla olması durumunda bile mevcut bitki deseni ile rezervuar kapasitesine ulaşılamadığı ancak %10 daha fazla bir alanda kısıntısız sulama yapılabileceği görülmektedir.

5.2.3 İklim Değişikliği Projeksiyonlarına Göre Değişim

20. yüzyılın, özellikle son çeyreğinde olmak üzere, en çok tartışılan çevresel konularından bir tanesi "İklim Değişikliği" olmuştur. Bu tartışmalar, iklim değişikliğinin önlenebilmesi, dünyamıza etkileri ve bu etkilere karşı alınabilecek tedbirlerin politik ve siyasi yönleri olması sebebiyle Birleşmiş Milletlerin (BM) öncülüğünde Dünya ülkelerinin gündemine taşınmıştır. Bu amaçla Birleşmiş Milletlerin iki örgütü olan Dünya Meteoroloji Organizasyonu (WMO) ve Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP)

aracılığıyla, insan faaliyetlerinin neden olduğu iklim değişikliğinin risklerini değerlendirmek üzere 1988 yılında Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) kurulmuştur. IPCC yapmış olduğu çalışmaları 1990, 1995, 2001, 2007 ve 2013 yıllarında raporlar ile dünyaya duyurmuştur. Bu çalışmalar üç temelde ele alınmaktadır: Bilimsel temel, uyum ve önleme çalışmaları. Bilimsel temel, Dünya ikliminin geçmişteki, günümüzdeki ve yarınımızdaki durumunu inceleyen çalışmalara dayanmaktadır.

IPCC 5. Değerlendirme Raporunun 3 temel bulgusu şöyledir;

1. Küresel ortalama yüzey sıcaklığı, dünyanın yakıt olarak petrol, kömür ve gaz kullanmaya başlamasından itibaren 0,9°C yükselmiştir ve bu yükselmenin 2/3'ü 1950'den sonra olmuştur.
2. Bilim adamları, 1950'den buyana meydana gelen küresel ısınmanın insan aktiviteleri sonucu oluştuğu görüşünde daha önce olmadıkları kadar %95 oranında emin olmuşlardır.
3. Eğer hâlihazırdaki durum bu şekilde devam ederse küresel ortalama sıcaklığın daha da yükselmesi kaçınılmaz olacaktır. Bu da daha fazla insanın yaşamını yitirmesi, daha fazla maddi kayıplar yaşanması ve aşırı hava olaylarının daha sık ve şiddetli yaşanmasına neden olacaktır.

Bu raporda dikkat çeken diğer unsurlarsa sıcaklık ve yağış beklentileridir. Buna göre sıcaklıkların kötümser senaryoya göre dünyada ortalama 2,6 ila 4,8°C, iyimser senaryoya göre ise 0,3 ila 1,7°C artması beklenmektedir. Ayrıca, sıcak hava dalgalarının frekanslarının ve sürelerinin daha da artması, aşırı yağışların daha da şiddetli olacağı ve bazı bölgelerde sıklığının artacağı da beklenmektedir (IPCC 2013).

Ülkemizde de Meteoroloji Genel Müdürlüğü vasıtası ile dünyada yapılan çalışmalara paralel olarak iklim değişikliği çalışmaları yapılmakta ve modeller yardımıyla, günümüzden yüzyılın sonuna kadar iklim değişikliği projeksiyonları geliştirilmektedir. 2015 yılında yayımlanan "Yeni Senaryolar İle Türkiye İklim Projeksiyonları ve İklim Değişikliği" çalışmasında 2 farklı karbondioksit (CO_2) konsantrasyon senaryosu üzerinden 3 farklı modelleme yapılmıştır.

IPCC 5. Değerlendirme Raporu çalışmaları için geliştirilen konsantrasyon senaryoları Temsili Konsantrasyon Rotaları (RCP: Representative Concentration Pathways) olarak adlandırılmıştır. Aynı toplantıda belirlenen özellikler bakımından literatür taranmış ve ışınımsal zorlama seviyeleri ve rotaları için 4 adet RCP tipi tanımlanmıştır. Bunlar ışınımsal zorlama değerleri en küçükten en büyüğe sırası ile RCP3-PD(RCP2.6), RCP4.5, RCP6.0 ve RCP8.5'dir. Bu senaryolar arasından iyimser olarak RCP4.5 ve kötümser olarak ta RCP8.5 konsantrasyon senaryoları seçilmiştir (MGM 2015).

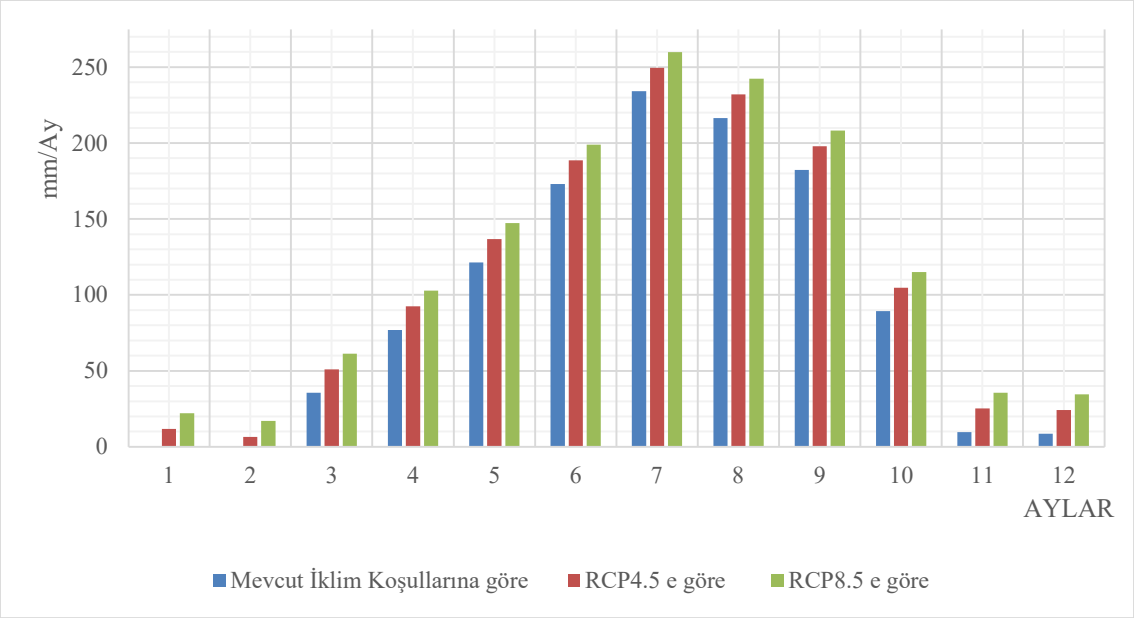
Bölgesel iklim projeksiyonları çalışmaları için ise, "Birleştirilmiş Model Projesi Faz: 5" (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 - CMIP5) kapsamında üretilen küresel model veri setlerinden yaygın olarak kullanılan ve ülkemiz için uygun 3 tanesinin (HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR, GFDL-ESM2M) verilerinin kullanılması kararlaştırmıştır (MGM 2015).

HadGEM2-ES küresel model verileri ile bölgesel iklim modeli kullanılarak 20 km çözünürlüklü projeksiyon sonuçlarına göre;
Sıcaklıkların 2016-2099 periyodunda RCP4.5 senaryosuna göre 1,0 ile 4,4°C ve ortalama 2,5°C, RCP8.5 senaryosuna göre ise 0,9 ila 7,1°C ve ortalama 3,6°C artması beklenmektedir. Sıcaklık artışına karşı en hassas bölgelerimiz Doğu Akdeniz ve Güney Doğu Anadolu Bölgelerimizdir (Demir vd. 2013, Demircan vd. 2014a, b).
Yağış miktarlarında ise iyimser senaryoya göre ülke genelinde 2040-2050 yıllarına kadar pozitif anomaliler beklenirken, kötümser senaryoya göre 2035 yılına kadar pozitif anomaliler beklenmektedir. Bu yıllardan sonra ise ortalama yağış miktarlarında azalışlar beklenmektedir (MGM 2015).
MPI-ESM-MR küresel model verileri ile bölgesel iklim modeli kullanılarak 20 km çözünürlüklü projeksiyon sonuçlarına göre;
Sıcaklıkların RCP4.5 senaryosuna göre periyot boyunca ortalama olarak 1,5°C artış beklenirken RCP8.5 senaryosuna göre artış miktarının ortalama olarak 2,5°C'ye ulaşması ön görülmektedir (Gürkan vd. 2015). Yağış projeksiyon sonuçlarına bakıldığında; RCP4.5 senaryosuna göre periyot boyunca Türkiye genelinde yağışlarda yıllık ortalama olarak 30 mm/yıl civarında bir azalış öngörülürken, yağışlardaki düzensizlik nedeniyle zaman zaman değişmekle birlikte yıllık bazda ortalama 140 mm/ yıl civarında artışların

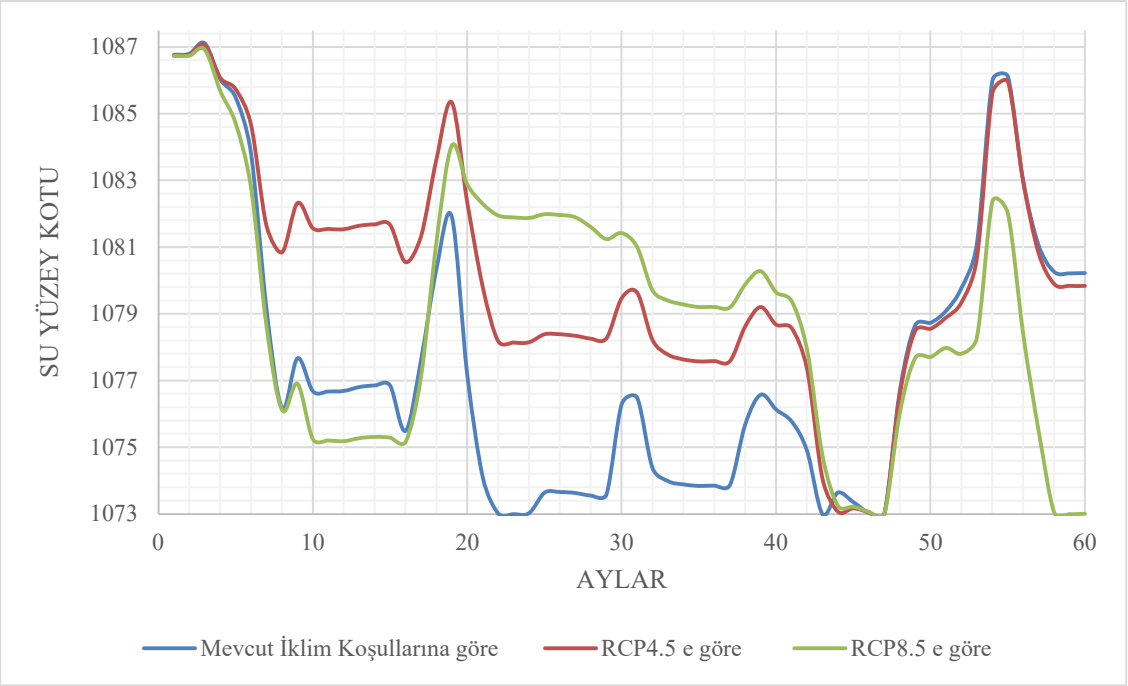
görülebileceği gibi 210 mm/yıl değerinde azalışlar da dikkat çekmektedir. RCP8.5 senaryosuna göre ise periyot boyunca ortalama ~160 mm/yıl civarında azalış öngörülmektedir (Gürkan vd. 2015).

GFDL-ESM2M küresel model verileri ile bölgesel iklim modeli kullanılarak 20 km çözünürlüklü projeksiyon sonuçlarına göre;
Sıcaklıkların RCP4.5 senaryosuna göre ortalama 1,5°C, RCP8.5 senaryosuna göre ise ortalama olarak 2,5°C artması ön görülmektedir. Yağış miktarlarında ise RCP4.5 senaryosuna göre 2016-2099 periyodunda ortalama olarak yıllık 10-15mm/yıl azaldığı, RCP8.5 senaryosuna göre ise ortalama olarak 105-110mm/ yıl civarında azalışlar öngörülmektedir (MGM 2015).

Bu çalışmada ise yukarıda zikredilmiş projeksiyon modellemeleri sonuçlarına göre RCP4.5 ve RCP8.5 Konsantrasyon senaryoları için iki farklı model geliştirilmiş ve RCP4.5 senaryosu için ortalama 1,5ºC sıcaklık artışı ve 20 mm/yıl yağış azalması, RCP8.5 senaryosu için ise ortalama 2,5ºC sıcaklık artışı ve 130 mm/yıl yazış azalması yaşanacağı varsayılmıştır. Yapılan çözümleme sonuçları şu şekilde olmuştur:



Şekil 5.8 İklim projeksiyonlarına göre buharlaşma miktarlarındaki değişim



Şekil 5.9 İklim projeksiyonlarına göre modelleme sonucu göl su yüzey kotu değişimi

5.3 Fayda Denkleminin Mantığı ve Hassasiyeti

Modelde nihai hesaplamalarla maksimize edilen fayda fonksiyonu şöyledir;

$$FAYDA = e = (BEAFY) + (BEAFP) + (BEAFM) + (KURUTF) - (BIRZ) - (QSLMM) - (TASZ) - (QSALM) \quad (5.1)$$

Burada;

BEAFY, Yonca bitkisi için ekim alanından elde edilen faydayı,

BEAFP, Pancar bitkisi için ekim alanından elde edilen faydayı,

BEAFM, Mısır bitkisi için ekim alanından elde edilen faydayı,

KURUTF, Kısıntısız sulu tarım yapılamayan bitki ekim alanlarından elde edilen faydayı;

BIRZ, Modelde sulamaya kullanılamayan suyun oluşturduğu teorik zararı,

QSLMM, Sulama için kullanılan suyun maliyetini,

TASZ, Olası taşkın halinde oluşabilecek zararı,

QSALM, Su salınması durumunda oluşacak teorik maliyeti ifade etmektedir.

Fayda, maliyet ve zararlar, optimizasyon sonucu elde edilen bitki ekim alanı ve hacim değeri ile birim maliyetlerinin çarpımı ile hesaplanmaktadır. Su birim fiyatı Selevir

Sulama Birliği ücret tarifesinden, Yonca, Şeker pancarı ve Mısır ekimi ve kuru buğday tarımı ile hektardan elde edilen kar miktarları da piyasa fiyatları araştırılarak tespit edilmiştir.

GAMS yazılımı sahip olduğu mantığa göre fayda sağlayacağı BEAFY, BEAFP, BEAFM ve KURUTF tanımlarını maksimize etmek isterken, BIRZ, QSLMM, TASZ, QSALM tanımlarını minimize etmeye çalışmaktadır. Kazanç sağlanan tanımlar arasında ise en fazla getirisi olan bitkinin daha fazla ekimi tercih edilerek elde edilecek faydanın maksimize olması istenmektedir. Ancak her bir bitkinin su ihtiyacı da farklılık gösterdiğinden yüksek ihtiyacı olan bitki seçiminde ekim alanı arttıkça sulama maliyetinin de artmasına, düşük ihtiyaçlı bitkinin seçilmesi durumunda da sulamada kullanılamayan su miktarının oluşturacağı teorik zarar miktarının artmasına neden olmaktadır. Bu çalışmada açıklanan mantığa göre FAYDA fonksiyonunun maksimize edilerek en optimum çözümün elde edilmesi hedeflenmiştir. Model bu yönü ile ekonomik sonuçlar da içermektedir.

Modelleme çözümün sonunda fayda fonksiyonu sonuç olarak sayısal bir değer vermektedir. Bu değer, 5 yıllık periyot sonunda milyon Türk Lirası olarak elde edilen geliri ifade etmektedir.

5.3.1 Getirideki Değişimlerin Optimizasyon Koşullarına Etkisi

Göl hacmini etkileyen en önemli çıktı sulama için kullanılan hacimdir. Bununla birlikte en fazla getiriyi de sulu tarımla yapılan ekimler sağlamaktadır. Selevir Barajı sulama sahasında tarımı yapılan bitkiler arasında en büyük payı yonca, şeker pancarı ve mısır almaktadır. Bu sebeple modelleme çalışmasında referans olarak bu bitkiler seçilmiş ve bu bitkilerin hasat getirisi göz önüne alınmıştır. Kuru tarım yapılan alanlarda ise buğday tarımı yapıldığı varsayılmıştır.

Yapılan piyasa araştırmasına göre seçilmiş bu bitkilere ait hasat getirileri Çizelge 5.1 de verilmiştir. (İnt. Kyn. 8~22)

Çizelge 5.1 Model için seçilmiş ürünler ve getirileri tablosu

Ürün	Verim (ton/da)	Fiyat (TL/ton)	Toplam Getiri (TL/da)	Dekar Başına Masraf (TL/da)	Net Gelir (TL/da)
Yonca	2,4	1600	3840	470	3370
Şeker Pancarı	7	336	2352	750	1602
Mısır	1,3	2100	2730	750	1980
Buğday	0,337	2335	787,50	450	337,50

Bu verilere göre yapılan modelleme çalışmalarında 2000, 4000 ve 8759,4 ha ekim koşullarına göre hasat getirileri şu şekilde gerçekleşmektedir.

Çizelge 5.2 Ekim alanlarına göre hasat getirileri

		Bitki Adı				Toplam Getiri
		Yonca	Ş. Pancarı	Mısır	Buğday (Kuru t.)	(milyon TL)
Ekilen Alan	2000 ha	16,85	7,05	4,95	0	28,85
	4000 ha	33,7	26,79	0,99	0	61,48
	8759,4 ha	36,5	19,18	22,07	5,07	82,82

6. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmada, geçmişteki iklimsel verilerden ve iklim değişikliği projeksiyonlarından yararlanarak, Selevir Baraj Gölü optimum işletme koşullarının değişimi GAMS programı ile oluşturulan optimizasyon modeli oluşturularak incelenmiştir. İklimsel değişkenlere ek olarak, işletme hesabına doğrudan etkisi olan tarımsal ve ekonomik değişimler de oluşturulan modele dahil edilmiş ve modelleme sonuçları analiz edilmiştir.

Çalışma sonucunda elde edilen veriler aşağıdaki gibi özetlenmiştir;

1. Sulu tarım için rezervuardan çekilen sulama suyu miktarı su bütçesine en büyük yükü getirmektedir. Modelleme sonuçlarına göre mevcut iklim şartlarının devam etmesi durumunda;
2. Rezervuar su seviyesindeki dalgalanma devam ederek minimum su seviyesi kotu olan 1073 m seviyelerine inmektedir.
3. Çalışma yapılan 60 aylık periyodun tamamında maksimum su seviyesine ulaşılamamış olup dolusavaktan su tahliyesi gerçekleşmemiştir.
4. Baraj sulaması alanının tamamında sulu tarım yapılmak istense de yeterli su girişi olmadığından belirli bir miktar kuru tarım da yapılması gerekmektedir.
5. Sulama yapılan alanın 8759,4 ha yerine 4000 ha civarına düşürülmesi halinde, su seviyesindeki dalgalanma nispeten azalmaktadır.
6. Modellemeye göre en büyük fayda her durumda sulu tarımdan elde edilmektedir.
7. Model, yüzeysel akış ve yağış değişiklik katsayılarındaki değişimlere karşı büyük hassasiyet göstermektedir.
8. İklim değişikliği senaryolarına göre mevcut kullanım alışkanlıklarının devam etmesi halinde su seviyesi, normal koşullara göre daha fazla yılda kuru tarım yapılmasına sebep olmaktadır.

Bu sonuçlar dikkate alındığında ileride yapılabilecek çalışmalar için şu öneriler tavsiye edilebilir;

1. Yapılan çalışmada Selevir Barajı sulama alanında en çok ekimi yapılan ve en çok su tüketimine de sebep olan ilk 3 bitki tercih edilmiştir. Selevir Sulama Yenilemesi projesi ile tüm sulama alanında damla sulama ve yağmurlama sulama etkin bir şekilde kullanılabileceğinden daha fazla bitki içeren modellemeler oluşturulmalıdır.

2. Selevir Barajı membaında birden fazla sulama amaçlı gölet bulunmaktadır. Modelleme çok barajlı bir ekosistem şeklinde tasarlanmalı veriler buna göre belirlenmelidir.

7. KAYNAKLAR

Allen R G, Smith M, Perrier A, Pereira L S, 1994, An update for the definition of reference evapotranspiration, ICID Bulletin, 43, 1–34.

Allen R G, Jensen M E, Wright J L, Burman R D, 1989, Operational estimate of reference evapotranspiration, Agronomy Journal, 81, 650-662.

Allen R G, Pereira L S, Raes D, Smith M, 1998, Crop Evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements), FAO Irrigation and Drainage Paper, 56.

Alpaslan M N, Tanık A, Dölgen D, 2008, Türkiye'de Su Yönetiminin Durumu: Sorunlar ve Öneriler, TÜSİAD Yayınları, T/2008-09/469, ISBN: 978-9944-405-42-3.

Anonim, 2016, Selevir Barajı Sulama Yenilemesi Planlama Raporu, Devlet Su İşleri XVIII. Bölge Müdürlüğü, Isparta.

Anonim, 2018, Bolvadin MGİ istasyon verileri, Devlet Meteoroloji İşleri V. Bölge Müdürlüğü (DMİ), Afyon.

Anonim, 2020, DSİ İstatistikleri, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ), Ankara.

Arslan O, 2013, Karacaören I ve II Barajları'nın optimum işletme modelinin oluşturulması, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 286s, Isparta.

Bazaraa M S, Sherali H D, Shetty C M, 2006, Nonlinear Programming: Theory and Algorithms, Wiley-Interscience, New York.

Cuenca R H, 1989, Irrigation system design An engineering approach, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NewJersay.

Değirmenci V, 2000, Harran ovasında su kaynaklarının optimizasyonu, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 135s, Adana.

Demir H, 2005, Farklı işletme büyüklüklerinde optimum bitki deseni ile çiftçilerin sulama yatırımı ve su ücreti ödeme gücünün belirlenmesi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 164s, Ankara.

Demir Ö, Atay H, Eskioğlu O, Tuvan A, Demircan M, Akçakaya A, 2013, Rcp4.5 Senaryosuna Göre Türkiye'de Sıcaklık Ve Yağış Projeksiyonları, III. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi, TİKDEK 2013 3-5 Haziran 2013, İstanbul.

Demircan M, Çiçek İ, Türkoğlu N, Arabacı H, Ekici M, 2014, Ortalama Sıcaklıklardaki Türdeşlik Kırılmalarının İklim Göstergeleriyle İlişkisi, Tücaum - Viii. Coğrafya Sempozyumu, 23-24 Ekim 2014, Ankara.

Demircan M, Demir Ö, Atay H, Eskioğlu O, Yazıcı B, Tuvan A, vd., 2014, Climate Change Projections for Turkey with New Scenarios, The Climate Change And Climate Dynamics Conference, 8–10 September 2014, Istanbul.

Erdin T E, 2014, Determination of optimum capacity and operation of reservoirs for irrigation purposes, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 65s, Ankara.

Erdin T E, Altan-Sakarya A B, 2015, Sulama Amaçlı Rezervuarlarda İşletme Çalışması Yapılması ve Optimum Rezervuar Kapasitesinin Belirlenmesi, IMO 4. SU YAPILARI SEMPOZYUMU, 19-21 Kasım 2015, Antalya.

Falkenmark M, Lundqvist J, Widstrand C, 1989, Macro-scale water scarcity requires micro-scale approaches: Aspects of vulnerability in semi-arid development, Natural Resources Forum, 13(4), 258–267.

Fletcher R, de la Maza E S, 1989, Nonlinear programming and nonsmooth optimization by successive linear programming, Mathematical Programming, 43, 235–256.

Gleick P H, Christian-Smith J, Cooley H, 2011, Water-use efficiency and productivity: rethinking the basin approach, Water International, 36, 7.

GAMS Development Corp., 2020, The General Algebraic Modeling System (Sürüm 26.1.0) [Yazılım], Virginia, United States of America. Tedarik edilebilecek adres: https://www.gams.com/download/

Google LLC, 2021, Google Earth Pro (Sürüm 7.3.4.8248 64-bit) [Yazılım], California, United States of America Tedarik edilebilecek adres: https://www.google.com.tr/intl/tr/earth/

Günaçtı M C, 2017, Kuraklıklarda enerji üretimi ve sulama suyu kullanımlarının eş zamanlı optimizasyonu, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 88s, İzmir.

Gürkan H, Demir Ö, Atay H, Eskioğlu O, Yazıcı, B, Demircan M, vd., 2015, MPI-ESM-MR Modelinin RCP4.5 ve RCP8.5 Senaryolarına Göre Sıcaklık ve Yağış Projeksiyonları, 7. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu, ATMOS'15, 28-30 Nisan 2015, İstanbul.

Hajilal M, RAO N H, SARMA P B, 1998, Real time operation of reservoir based canal irrigation systems, Agricultural Water Management, 103–122.

Hugo A L, 2002, Reservoir designs and operation with variable lake hydrology, Journal of Water Resources Planning and Management, 128-6, 399-405.

ICWE, 1992, The Dublin Statement and report of the conference, International conference on water and the environment: development issues for the 21st century, 26-31 January, Dublin – IRELAND.

Işık S, 2001, Sulama Amaçlı Bir Barajın Optimum İşletme Modelinin Belirlenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 171s, İstanbul.

İlhan A İ, Utku M, 1998, GAP Sulama Alanında Bitki Su Tüketimi ve Bitki Su Gereksinimi, Tarım Orman Meteorolojisi Sempozyumu, İTÜ, İstanbul.

Kahya, M E, 2020, Kurak koşullarda optimum ürün deseni modelinin geliştirilmesi ve Kırıkhan sulama sahasında uygulanması, Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 69s, Hatay.

Karaca Bilgen G, Kodal S, Yıldırım Y, 2019, Havza Bazlı Bitkisel Üretim ve Sulama Suyu Optimizasyon Çalışmaları ve Önemi, Toprak Su Dergisi, Özel Sayı, 107-114.

Karush W, 1939, Minima of Functions of Several Variables with Inequalities as Side Conditions, M.Sc. Thesis, Department of Mathematics, University of Chicago, Chicago, IL, USA.

Koç A, Güner Ü, 2005, Mevcut Sulama Projelerinin Fao Kriterleriyle Yeniden Değerlendirilmesi: Tavas Ovası Örneği. Journal of Science and Technology of Dumlupınar University, 9, 93-106.

Kuhn H W, Tucker AW, 1951, Nonlinear programming, Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, University of California Press, Berkeley, CA, USA, 481–492.

Monteith J L, 1965, Evaporation and the environment In the state and movement of water in living organism, Symposia of the Society for Experimental Biology, 01 Jan 1965, 19, pp. 205-234, Swansea - England.

Reis L F R, Bessler F T, Walters G A, Savic D, 2006, Water supply reservoir operation by combined genetic algorithm - Linear programming (GA-LP) approach, Water Resources Management, 20(2), 227–255.

Sattar M, Salmasi F, Öztürk F, 2008, Sulama Amaçlı Hazne Kapasitesinin Belirlenmesinde Çeşitli Yöntemlerin Karşılaştırılması, Journal of Agricultural Sciences, 14 (01), 1-7.

Sinha A K, Rao B V, Bischof C, 1999, Nonlinear optimization model for screening multipurpose reservoir systems, Journal of water resources planning and management, 125-4, 229-233.

Süğücük C, 1990, İmamoğlu-Kırmıt (Çukurova) ovası sulama projesi alanına giren tarım işletmelerinde optimum ürün bileşiminin doğrusal programlama yöntemiyle belirlenmesi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 60s, Adana.

Şanlı A S, 2012, Beyşehir Gölü'nden su kullanımının iklim verilerine bağlı optimizasyonu, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 146s, İstanbul.

Tuncer Nimetoğlu S, 2006, Yaylak proje alanındaki işletmelerde yeterli ve kısıtlı su koşullarında sulama zaman planlaması ve optimum bitki deseni, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 113s, Ankara.

Türkay M, 2006, Optimizasyon Modelleri ve Çözüm Metodları, New Frontiers in Total Quality and Strategic Management, Gazi Publishing, 309-328, Ankara.

Türker S N, 2019, Afyon Sultandağı Çamözü-Akbaba sulama kooperatifi alanında sulama uygulamalarının değerlendirilmesi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 83s, Ankara.

Uzunkaya K, Gül M, 2017, Dinar Karakuyu Sulaması Sahası Tarımsal İşletmelerinin Doğrusal Programlama Yöntemi Kullanılarak Ürün Desenlerinin Planlanması, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 21 (2), 388-396.

Williams H P, 1999, Model Building in Mathematical Programming, Wiley, New York, NY, USA.

Winston W L, 2003, Operations Research: Applications and Algorithms, International Thomson Publishing, Belmont, CA, USA.

İnternet Kaynakları

1) Su Kaynakları Planlamasında Sistem Optimizasyonu, https://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/13586.pdf, 01.03.2021
2) https://www.youtube.com/watch?v=SgNEI_UQ5EE , 05.03.2021
3) Gass S I, 2000, Making Decisions with Precision, Business Week October 30, https://www.bloomberg.com/news/articles/2000-10-29/making-decisions-with-precision, 17.07.2021
4) NEOS Optimizasyon Rehberi web sitesi, https://neos-guide.org/Optimization-Guide, 18.07.2021
5) https://www.talebemektebi.com/ilkogretim/6-sinif/dunyamizin-katmanlari-konu-anlatimi/, 10.08.2021
6) https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/gturan/133010/Y%C3%BCzeysel%20Ak%C4%B1%C5%9F.pdf, 10.04.2021
7) https://silo.tips/download/blm-7-yzeysel-aki-surface-runoff, 10.04.2021
8) https://www.trakkulup.net/threads/yonca-maliyeti.93827/, 12.04.2021
9) https://www.devletdestekli.com/bugday-ne-kadar-para-kazandirir-maliyet-hesaplama/#bugday_maliyet_hesabi_nasil_yapilir, 12.04.2021

10) https://tokat.tarimorman.gov.tr/Belgeler/%C4%B0statistikler/MAL%C4%B0YETLER/2015/SULUSARAY%20%C4%B0L%C3%87ES%C4%B0%202015%20YILI%20T%C3%9CM%20%C3%9CR%C3%9CNLER%20MAL%C4%B0YET%C4%B0.pdf, 12.04.2021
11) https://konyaseker.com.tr/tr/icerik/detay/2254/bugday-tarimi, 12.04.2021
12) https://konyaseker.com.tr/Upload/Files/Ciftci-Rehberi.pdf, 12.04.2021
13) https://www.turkseker.gov.tr/?ModulID=10&MenuID=46, 13.04.2021
14) https://fiyat.tarimziraat.com/yonca_balyasi_fiyatlari-a9.html, 13.04.2021
15) https://fiyat.tarimziraat.com/yonca_balyasi_fiyatlari-a9~2.html, 13.04.2021
16) https://tagsem.gidatarim.edu.tr/uploads/2020/07/09/Yeker_PancarY_Uretiminde_Girdiler_ve_Yeker_PancarY_Maliyeti.pdf, 14.04.2021
17) https://www.zmo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=32780&tipi=42&sube=0, 14.04.2021
18) https://www.adanatb.org.tr/index.html#close, 14.04.2021
19) https://www.tmo.gov.tr/Upload/Document/piyasabulteni/piyasabulteni_tr.pdf, 14.04.2021
20) https://fiyat.tarimziraat.com/misir_fiyatlari-a14.html, 14.04.2021
21) https://www.trakkulup.net/threads/danelik-misir-maliyet.99189/, 14.04.2021
22) https://www.tarimdanhaber.com/tarim/1-dekar-bugdayin-uretim-maliyeti-kac-lira-h15541.html, 14.04.2021

ÖZGEÇMİŞ



Adı Soyadı : Ahmed Celil ÖZAYDIN

Doğum Yeri ve Tarihi : Bolvadin 1990

Yabancı Dili : İngilizce

İletişim (Telefon/e-posta) : +90 537 6043267

ahmedcelilozaydin@gmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Bolvadin Anadolu Lisesi, (2004-2008)

Lisans : Kırıkkale Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, (2008-2012)

Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Güvenliği Anabilim Dalı, TEZSİZ (2017-2019)

Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, (2017-2021)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

: HAS-TEK İnşaat Ltd. Şti. (2012-2013)

: Arda Mühendislik Ltd. Şti. (2013-2013)

: Arda Turk-Ghana Ltd. (2013-2013)

: SUPERLİT Boru San. A.Ş. (2015-2016)

: SETAN Mühendislik Ltd. Şti. (2017-2020)

: Afyonkarahisar İl Özel İdaresi (2020-Devam ediyor)