

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BEYŞEHİR GÖLÜNDEN SU KULLANIMININ İKLİM
VERİLERİNE BAĞLI OPTİMİZASYONU**

AHMET SANCAK ŞANLI

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
HİDROLİK PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. AHMET DOĞAN**

İSTANBUL, 2014

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BEYŞEHİR GÖLÜNDEN SU KULLANIMININ İKLİM
VERİLERİNE BAĞLI OPTİMİZASYONU

Ahmet Sancak ŞANLI tarafından hazırlanan tez çalışması 16.06.2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Ahmet DOĞAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Ahmet DOĞAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç.Dr. Mehmet ÖZGER
İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Ali COŞAR
Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Lisansüstü tezime temel teşkil eden Tübitak projesinde yer almamı uygun gördüğü, tez çalışmalarına devam etmiş olduğum uzun sürecin her aşamasında yaşadığım bütün zorluklara rağmen bilgi, desteğini ve anlayışını benden hiç esirgemeyen, hocam Doç. Dr. Ahmet DOĞAN'a vermiş olduğu emek, göstermiş olduğu sabır ve kıymetli zamanından bana da pay ayırdığı için teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Modelleme çalışmamda kullanmış olduğum bilgi ve verilerin elde edilmesinde büyük pay sahibi olan TÜBİTAK 109Y271 no'lu proje ekibinde görev alan tüm arkadaşlara ve sağlamış olduğu maddi destekten ötürü Tübitak'a teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemde büyük pay sahibi olan başta babam Hikmet ŞANLI'ya ve annem Fatma ŞANLI'ya eğitim hayatımın her aşamasında verdikleri sonsuz desteklerinden ve emeklerinden dolayı minnettarım.

Tez çalışmalarım boyunca beni yalnız bırakmayan, elinden gelen desteği esirgemeyen, varlığı sayesinde sıkıntılı anlarımı atlatabildiğim eşim Merve ŞANLI'ya ayrıca teşekkür eder, çalışmalarım boyunca az çok demeden yardımını esirgemeyen tüm tanıdıklarına sevgi ve saygılarımı sunarım.

Mayıs,2014

A.Sancak ŞANLI

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGE LİSTESİ	vi
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xv
ÖZET	xvi
ABSTRACT	xvii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.1.1 Beyşehir Gölü İle İlgili Literatür Araştırması	1
1.1.2 Optimizasyon İle İlgili Literatür Araştırması	3
1.2 Tezin Amacı.....	6
1.3 Hipotez.....	6
BÖLÜM 2	7
METARYEL VE YÖNTEM	7
2.1 Giriş	7
2.2 Çalışma Alanı Beyşehir Gölü Havzası	8
2.3 Beyşehir Gölü Havzası'nın Ve Gölün Sorunları	11
2.4 GAMS (The General Algebraic Modeling System) Yazılımı	14
BÖLÜM 3	22
GÖL İŞLETME MODELİNİN OLUŞTURULMASI VE BEYŞEHİR GÖLÜ MODELİ.....	22
3.1 Modelleme Kapsamı ve Tanımı.....	22
3.2 İndislerin Tanımlanması	26

3.3	Girdilerin Tanımlanması.....	27
3.3.1	Yağış Değerlerinin Elde Edilmesi	27
3.3.2	Buharlaştırma Miktarının Tespit Edilmesi(A,Y)	29
3.3.3	Bitki Su İhtiyacının Belirlenmesi(A,Y)	41
3.3.4	Kullanım Suyu İhtiyacının Belirlenmesi(A,Y)	46
3.4	Sabit Girdilerin Belirlenmesi	49
3.4.1	Yağış-Akış İl. ve Yüzeysel Akış Katsayısının Tespit Edilmesi..	51
3.5	Değişkenlerin Tanımlanması	61
3.6	Denklemler Amaç Fonksiyonu ve Kısıtların Tanıtılması	62
3.6.1	Beyşehir Gölü Yeraltısuyu Akımının Modellenmesi.....	72
BÖLÜM 4.....		79
MODEL SONUÇLARININ ANALİZ EDİLMESİ.....		79
4.1	Mevcut İklimsel Koşullarla Elde Edilen Modelleme Sonuçları.....	79
4.2	Farklı Senaryolar Altında Model Çıktıları.....	83
4.2.1	Farklı Sulu Tarım Alanları Halinde Göl Su Sev. Değişim.....	83
4.2.2	Farklı Yağış Durumlarında Göl Su Seviyesindeki Değişim	87
4.2.3	Farklı Tarım-turizm Ağ. Katsayılarında Göl Su Seviyesi Değ ...	89
4.2.4	Farklı Yüzeysel Akış Katsayılarında Göl Su Seviyesi Değişimi	92
4.3	Fayda Denkleminin Mantığı ve Hassasiyet Analizi	94
4.3.1	Hasat Getirisindeki Değ. Optimum İşletme Koşullarına Etkisi ..	95
4.3.2	Sulama Maliyetlerindeki Değ.Optimum İşletme Koş. Etkisi.....	99
BÖLÜM 5.....		101
İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ SENARYOLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ		101
5.1	2013 Yılı iklim Değişikliği Değerlendirme Raporu	101
5.2	İklimsel Projeksiyonların Model Sonuçlarına Etkisi	110
5.3	İklim değişikliği senaryolarına göre göl su seviyesi değişimleri.....	112
BÖLÜM 6.....		115
SONUÇ VE ÖNERİLER.....		115
KAYNAKLAR.....		118
EK 1.....		122
ÖZGEÇMİŞ.....		132

SİMGE LİSTESİ

a_s	Geri dönüş sabiti
C_p	Sabit basınçtaki nemli havanın özgül ısısı
D	Günlük maksimum güneşlenme süresi
d	Sıfır düzleme göre yükseklik değişimi
ET_0	Günlük potansiyel buharlaşma miktarı
ET	Buharlaşma miktarı
e_a	Havanın ortalama gerçek buhar basıncı
e_s	Günlük ortalama sıcaklıkta doymuş buhar basıncı
e^0	Ortalama sıcaklıkta doymuş buhar basıncı değeri
$f(u)$	Rüzgar hızına bağlı fonksiyon değeri
F_a	Akış başladıktan sonra toprakta tutulan su miktarı
G	Toprak ısı akımı yoğunluğu
G_{sc}	Güneşlenme sabiti
G	Yerçekimi ivmesi
H	Su derinliği
J	Günün yıl içerisindeki sıra sayısı
k	Von Karman sabiti
k_c	Bitki faktörü
La	Akışın başlamasından önceki kayıpların tümü
LAI	Güneş gören yaprak alan indeksi Günlük güneşlenme süresi
N	Günlük maksimum güneşlenme süresi
p	Gündüz saatlerinin gün içerisindeki oranı
Q	Debi
r_a	Atmosfer sınır tabakası içine su buharı yayılmasına karşı hava dinamiği direnci
r_s	Su buhar transferine karşı yüzey direnç
r_l	Aydınlık ortamda stomatal direnç
P	Atmosfer basıncı
P	Yağış
P_e	Yağış fazlası
R_A	Angot güneş radyasyonu değeri
R_a	Atmosfer dışındaki radyasyon
R_c	Yer yüzüne ulaşan radyasyon
R_s	Atmosfer dışındaki güneş radyasyonu
R_{so}	Açık havadaki güneş radyasyonu
R_n	Net radyasyon
R_{ns}	Net güneş radyasyonu
R_{nl}	Net uzundalga radyasyonuSPotansiyel en fazla su tutulma miktarı

T	Ortalama hava sıcaklığı
$T_{\max}$	Günlük maksimum hava sıcaklığı
$T_{\min}$	Günlük minimum hava sıcaklığı
T_w	Su sıcaklığı
T_{ort}	Ortalama sıcaklık
U_z	Z yüksekliğindeki rüzgar hızı
V	Birim zamanda geçen akım hacmi
w_s	Gündoğumu saatine bağlı açı değeri
Z_h	Nem ölçüm yüksekliği
Z_m	Rüzgâr ölçüm yüksekliği
Z_{om}	Momentum transferine etki eden pürüzlülük uzunluğu
Z_{oh}	Isı ve buharlaşmaya etki eden pürüzlülük uzunluğu
Z	Deniz seviyesine göre yükseklik
Δ	Doymuş buhar basıncı sıcaklık eğrisinin eğimi
α	Albedo Sabiti
ε	Su buharı kuru hava molekül ağırlıkları oranı
λ	Suyun buharlaşma ısısı
σ	Stefan-Boltzman Sabiti
γ	Psikrometrik sabit
ρ_a	Havanın yoğunluğu
δ	Solar kırılma
φ	Enlem

KISALTMA LİSTESİ

BM	Birleşmiş Milletler
CN	Eğri Numarası
DSİ	Devlet Su İşleri
DMİ	Devlet Meteoroloji İstasyonu
FAO	Food and Agriculture Organization
GAMS	The General Algebraic Modeling System
LP	Linear Programming
NLP	Non-linear Programming
PM	Penman-Monteith
RCP	Representative Concentration Pathways
SCS	Soil Conservation Service
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UNEP	Birleşmiş Milletler Çevre Programı
WMO	Dünya Meteoroloji Örgütü

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Beyşehir Gölü'nün konumu.....	8
Şekil 2.2 Çalışma alanının harita üzerindeki konumu	10
Şekil 2.3 Beyşehir Gölü su kotu değişimi (DSİ)	12
Şekil 2.4 GAMS yazılımı kullanıcı arayüzü	15
Şekil 2.5 Table komutu ile veri girişi yapılması	17
Şekil 2.6 GAMS Sonuç Raporu	21
Şekil 3.1 Göl optimizasyon modeli temel girdileri	23
Şekil 3.2 Optimizasyon Modeli Akış Diyagramı.....	25
Şekil 3.3 Beyşehir istasyonu yıllık toplam yağış ve eklenik sapma grafiği	28
Şekil 3.4 Beyşehir Gölü uzun yıllar yağış ortalama haritası.....	29
Şekil 3.5 Su çevrimi.....	30
Şekil 3.6 Penman-Monteith denklemi mimari yapısı	31
Şekil 3.7 LAI –Güneş gören yaprak alanı indeksi değerinin değişimi	33
Şekil 3.8 Radrasyonun yeryüzeyindeki dağılımı	35
Şekil 3.9 Blaney-Criddle denklem takımına etki eden değişkenler.....	42
Şekil 3.10 Enlemlere göre p değerlerinin değişimi.....	42
Şekil 3.11 Blaney-Criddle denklemi ile bitki su ihtiyacı hesapları	43
Şekil 3.12 2000 – 2009 Yılları arası Penman-Monteith, Blaney Criddle ve buharlaşma tavası buharlaşma değerlerinin aylık dağılımı	45
Şekil 3.13 Bitki su ihtiyaçlarının GAMS program arayüzüne girilmesi.....	46
Şekil 3.14 Beyşehir Gölü Havzasında bulunan derelerin haritası	51
Şekil 3.15 Mutlu Havzası yağış yükseklikleri (2011).....	52
Şekil 3.16 Baharca Deresi Parshall Savaşında ölçülen debileri (2011)	53
Şekil 3.17 Baharca Deresi Parshall Savaşında ölçülen debileri (2012)	53
Şekil 3.18 Mutlu Havzasında Baharca Deresinde ölçülen Yağış (2012).....	53
Şekil 3.19 Mutlu kuyusunda basınç sensörlü limnigraftan alınan YASS değ. graf.....	54
Şekil 3.20 Gölkonak kuyusunda şamandıralı limnigraftan alınan YASS değ. Graf.....	55
Şekil 3.21 Sızma-Tutulma ve Yağış fazlasının zamanla değişimi.....	56
Şekil 3.22 Yağış- Akış yükseklikleri (Mutlu Havzası).....	59
Şekil 3.23 Yağış- Akış yükseklikleri (Hizar Deresi-Yenişarbademli Havzası).....	60
Şekil 3.24 Beyşehir Gölü Alan-Derinlik İlişkisi.....	66

Şekil 3.25	Beyşehir Gölü Hacim-Derinlik İlişkisi.....	67
Şekil 3.26	Beyşehir Gölü Derinlik-Sosyal Fayda Gelirleri İlişkisi	68
Şekil 3.27	Sulama suyu maliyeti-göl derinliği arasındaki ilişki	70
Şekil 3.28	Modellenen Havzadaki aktif, pasif (no-flow), ve gölü temsil eden sabit..... yüklü (constant-head) hücrelerin Groundwater Vistas ta görünümü.....	74
Şekil 3.29	MODFLOW Model alanındaki 1. Tabakayı gösteren harita	75
Şekil 3.30	MODFLOW Model alanındaki 2. Tabakayı gösteren harita	76
Şekil 3.31	MODFLOW Model alanındaki 3. Tabakayı gösteren harita	76
Şekil 3.32	MODFLOW Model alanındaki 4. Tabakayı gösteren harita	77
Şekil 3.33	Göl yüzey kotu-Yeraltı suyu hacim giriş-çıkış ilişkisi	78
Şekil 4.1	Beyşehir Gölü GAMS Modelleme Sonuç Raporu	79
Şekil 4.2	Mevcut şartlar altında 5 yıllık dönemde Beyşehir Gölü su sev. kotu değ.	82
Şekil 4.3	Mevcut şartlar altında 10 yıllık dönemde Beyşehir Gölü su sev. kotu değ. ...	82
Şekil 4.4	Farklı bitki ekim alanlarında elde edilen modelleme sonuçlarına göre göl su yüzeyi kotu-sulanan alan ilişkisi	84
Şekil 4.5	Farklı bitki ekim alanlarında modelleme sonuçlarına göre göl su..... hacmi -sulanan alan ilişkisi.....	85
Şekil 4.6	GAMS modelleme sonuçlarına göre 2006-2010 Periyodu iklim şartlarına .. göre 10 yıllık süreçte Beyşehir Gölü su yüzeyi kotu ve sulanan alan	87
Şekil 4.7	Göl yüzey kotunun yağış miktarı değişimine karşı hassasiyeti	88
Şekil 4.8	Sosyal gelirler ağ. katsayısı değ. ile sos. fayda gelir miktarı arasındaki ilişki	90
Şekil 4.9	Sosyal gelir ağırlık katsayısı önemi-sulama hacmi ilişkisi.....	90
Şekil 4.10	Sosyal faaliyet gelirleri katsayısı-Göl yüzey kotu ilişkisi	92
Şekil 4.11	Göl yüzey kotunun yüzeysel akış kat sayısındaki değ. karşı hassasiyeti	93
Şekil 4.12	Sulu tarımda alternatif ürünler ve getirileri tablosu.....	95
Şekil 4.13	Şekerpancarı hasat getirisi -su yüzeyi kotu arasındaki ilişki	96
Şekil 4.14	Sulama suyu maliyeti ile sulama alanı arasındaki ilişki	100
Şekil 5.1	RCP tiplerine ait toplam Radiative zorlama seviyeleri	104
Şekil 5.2	Güney Avrupa/Akdeniz Sıcaklık Değ. (Aralık-Şubat Ayları arasında)	104
Şekil 5.3	Güney Avrupa/Akdeniz Sıcaklık Değ. (Haziran-Ağus. Ayları arasında) ...	105
Şekil 5.4	Güney Avrupa/Akdeniz Yağış Değ. (Ekim-Mart Ayları arasında).....	105
Şekil 5.5	Güney Avrupa/Akdeniz Yağış Değ. (Nisa-Eylül Ayları arasında)	106
Şekil 5.6	Tüm mevsimler için 1971–2000 periyoduna göre 2013–2040, 2041–2070 ve 2071–2099 periyotlarının sıcaklık fark haritası.....	107
Şekil 5.7	1961–1990 periyoduna göre sıcaklık değişimleri projeksiyonları..... (a) 2041–2070 Yılları arası,(b) 2071–2099 yılları arası	108
Şekil 5.8	Tüm mevsimler için 1971–2000 periyoduna göre 2013–2040, 2041–2070 ve 2071–2099 periyotlarının yağış fark haritası.....	109
Şekil 5.9	1961–1990 periyoduna göre yağış değişimleri projeksiyonları..... (a) 2041–2070 Yılları arası,(b) 2071–2099 yılları arası	110
Şekil 5.10	1961–1990 periyoduna göre Beyşehir Gölü Havzası'nda..... Penman-Monteith Denklem Takımı ile hesaplanan buharlaşma..... değişimleri projeksiyonları	111
Şekil 5.11	1961–1990 periyoduna göre 80 000 hektar alanda sulu tarım yapılması... durumunda Beyşehir Gölü su yüzey kotu değişimi	112
Şekil 5.12	1961–1990 periyoduna göre 40 000 hektar alanda sulu tarım yapılması... durumunda Beyşehir Gölü su yüzey kotu değişimi	113

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 Beyşehir Gölü etrafındaki istasyonlara ait uzun yıllar ort. yağış değ.	28
Çizelge 3.2 FAO-Penmann-Monteith ve DMİ tava buharlaşma değ. karşılaştırılması	40
Çizelge 3.3 2000 – 2009 Yılları arası şekerpancarı bitkisi su ihtiyacı yükseklikleri	45
Çizelge 3.4 Beyşehir Gölü ile su iht. karşılayan yerleşim merkezlerinin nüfus Say.	47
Çizelge 3.5 2040 yılındaki nüfus tahmini ve kullanma suyu ihtiyacı hesabı	48
Çizelge 3.6 Eğri Numaraları	58
Çizelge 3.7 Son beş günlük toplam yağış göz önüne alındığında Eğri Numaraları	59
Çizelge 3.8 Mutlu ve Gölyaka Deney havzalarına göre kalibre edilmiş CN değ. Thiessen poligonlarına göre hesaplanmış yağ.-akış katsayıları	60
Çizelge 4.1 Şekerpancarı getirisindeki değişimin model fayda fonksiyonuna etkisi	97
Çizelge 4.2 Sulama suyu maliyet değişiminin model fayda fonksiyonuna etkisi	99
Çizelge 5.1 Temsili Konsantrasyon Rotaları (RCPs)	102

BEYŞEHİR GÖLÜNDEN SU KULLANIMININ İKLİM VERİLERİNE BAĞLI OPTİMİZASYONU

Ahmet Sancak ŞANLI
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç.Dr. Ahmet DOĞAN

Günümüzde artan dünya nüfusu ve giderek azalan temiz su kaynakları nedeniyle mevcut su kaynaklarının etkin ve sürdürülebilir yönetimi büyük önem taşımaktadır. Mevcut büyüme hızı, su tüketim alışkanlıklarının değişmesi gibi faktörlerin etkisi ile su kaynakları üzerinde olabilecek baskıları tahmin etmek mümkündür. Türkiye'nin gelecek nesillere sağlıklı ve yeterli su bırakabilmesi için kaynaklarının çok iyi korunup, akılcı kullanması yani en etkin ve sürdürülebilir biçimde yönetmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada ülkemizin sahip olduğu en önemli temiz su kaynaklarından biri olan Beyşehir Gölü'nün mevcut iklim verilerine bağlı olarak, optimum dinamik işletme modelinin oluşturulması amaçlanmıştır. Optimum dinamik işletme modeli kavramı gölün minimum işletme kotunun önceki yılların ve/veya mevcut yılın yağış, buharlaşma ve yeraltı suyu seviyeleri dikkate alınarak belirlenmesini ifade etmektedir.

Optimizasyon modeli GAMS (matematiksel paket programlama) yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur. Günlük potansiyel buharlaşma tahminlerinde, hidroloji mühendisliğinde kullanılan yöntemlerden biri FAO (Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Organizasyonu) tarafından önerilen Penman-Monteith yöntemi, bitki su ihtiyacı tahmininde ise ziraat mühendisliğinde de sıkça kullanılan Blaney-Criddle yöntemi kullanılmıştır. Yeraltı suyu verileri, Modflow bilgisayar programı ile oluşturulan havza yer altı suyu modelinden elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Beyşehir Gölü, optimizasyon, GAMS, Penman-Monteith, Blaney Criddle

ABSTRACT

OPTIMIZATION OF WATER USE FROM BEYSEHİR LAKE DEPENDİNG ON CLIMATE

Ahmet Sancak ŞANLI

Department of Civil Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Dr. Ahmet DOĞAN

Effective and sustainable management of available water resurses has great importance by considering that the current increasing trend in world population and consequent decreasing trend in fresh water resources. It is possible to estimate the stresses on water resources due to some factors such as current population growth ratio and variations of water consumption habits. Turkey has to protect and manage effectively and sustainably its limited water resources to be able leave them to its future generations as healty and as sufficient as possible.

This study is aimed to to develop climate dependent optimum dynamic management model of Lake Beyşehir which is one of the most important and yet the largest freshwater lake of Turkey. The concept of optimum dynamic model refers to determination of minimum allowable water surface elevation of lake management by using the precipitation, evaporation and groundwater elevation data of current and/or previous years.

Optimization model is developed by using GAMS (General Algebraic Modeling System) software. Daily evapotranspiration is calculated by using Penman-Monteith method which is suggested by FAO (United Nations Food and Agriculture Organization). Crop-water requirement is calculated by Blaney-Criddle method which is widely used by aggricultural engineers. Groundwater levels are obtained from the regional groundwater flow model of the lake which was generated with MODFLOW software.

**YILDIZ TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

Key words:Beyşehir Lake, optimization, GAMS, Penman-Monteith, Blaney Criddle

1.1 Literatür Özeti

Dünyada kullanılabilir tatlı su miktarının giderek azalması ve dünya nüfusundaki hızlı artış sebebiyle tatlı suya olan ihtiyaç günden güne artmaktadır. Tatlı suya olan ihtiyacın artması, kaynakların daha iyi yönetilmesini zorunlu kılmaktadır. Yılda kişi başı su potansiyelinin 1.700 m³'den düşük olduğu ülkeler “su fakiri”, 1.000 m³'den düşük olduğu ülkeleri de “su kıtlığı” olan ülke olarak tanımlanmaktadır[1]. Ülkemizin 2011 nüfusu yaklaşık 74 milyon ve kişi başına düşen su miktarı ise 1566 m³/yıl'dır. Bu rakamlar ülkemizin su azlığı çeken bir ülke olduğunu göstermektedir. 2023 yılı için nüfusumuzun 100 milyon ve kişi başına düşen kullanılabilir su miktarının 1125 m³/yıl civarında olacağı öngörülmektedir. Mevcut büyüme hızı, su tüketim alışkanlıklarının değişmesi gibi faktörlerin etkisi ile su kaynakları üzerine olabilecek baskıları tahmin etmek mümkündür. Dolayısıyla Türkiye'nin gelecek nesillere sağlıklı ve yeterli su bırakabilmesi için kaynaklarının çok iyi korunup, akılcı kullanılması yani en etkin ve sürdürülebilir biçimde yönetilmesi gerekmektedir.

1.1.1 Beyşehir Gölü İle İlgili Literatür Araştırması

Beyşehir Gölü ile ilgili farklı alanlarda çeşitli çalışmalar mevcuttur. 60'lı yıllardan itibaren göl su seviyesinde ki değişimleri ve bu değişimlerin çevreye olan etkilerini analiz eden çalışmalarda artış gözlenmiştir. 90'lı yıllardan itibaren gelişen bilgisayar teknolojisi ve modelleme programları ile özellikle yeraltısu modelleme çalışmaları büyük ivme kazanmıştır. Bu tezde özellikle 1960 yılından sonra yapılan çalışmaların kısa bir özeti kronolojik ve alfabetik sıraya göre verilmiştir.

Acatay [2] de yapmış olduğu çalışmada Manavgat'taki akışın yağın yağışın dört katı olduğunu, Suğla, Gembos, Eynif, Akseki ve Çobankaya havzalarındaki yağışlarla bile karşılanamayacağını aradaki açığın bariz şekilde Beyşehir Gölü' den kaynaklandığını ifade etmiştir.

Yurtsever [3] de Beyşehir Gölü'nden yüksek miktarda kaçak olsaydı, göl suyunun yaşlı olamayacağını ifade etmiştir. Öte yandan eğer ilişki varsa, Dumanlı kaynağının suyunun Beyşehir Gölü suyundan da yaşlı olması gerektiğini ve buna uygun olarak Dumanlı kaynağınınManavgat havzasının batısındaki kapalı havzalardan ve Suğla Gölü'nden beslendiğini iddia etmiştir.

Günay [4] de Manavgat Nehir Havzası ile yakın havzaları karst hidrojeolojisi açısından incelemiştir. Araştırma kapsamında havzalar arasında hidrojeolojik ilişkileri araştırmıştır. Çalışmalar Manavgat Çayındaki boşalmanın drenaj alanına düşen yıllık ortalama yağışın üç-dört katı olduğunu göstermiştir. Bu durum Manavgat Nehri ile diğer havzalar arasında bir ilişkinin olduğunu ortaya çıkarmıştır

Tüstaş[5]tarafından yapılan çalışmaya göre Beyşehir Gölü sulak alanı yüzey su toplama havzası, morfolojik olarak kapalı bir havza görünümünde olmakla birlikte, yüzey suyu yönünden doğudaki Çarşamba Suyu ile önce Suğla Ovası'na, daha sonra sırasıyla Konya Ovası ile Tuz Gölü'ne sularını drene etmektedir. Havza Türkiye'nin en önemli karst bölgelerinden biri olan Batı Toroslar içinde yer almaktadır. Bu Batı Toroslar bölgesinde karstlaşma deniz seviyesinden 2500-3000 m yükseklerden, deniz seviyesi altından 150-200 m derinliğe kadar her yerde gelişmiştir. Bu bölgedeki yüksek dağlar, derin ve dar vadiler, göller, dolinler, polyeler, estavelleler (alıcı verici kaynaklar), ponorlar (polyelerdeki bazı derelerin döküldüğü mağara veya derin çukurluklar), düdenler, büyük debili kaynaklar, yer altı dereleri (hatta yer altı ırmakları), mağaralar vb. karst morfolojisinin en belirgin özelliklerini göstermektedir. Bu karstik bölgede yüzeysuyu akımlarını, Türkiye' nin birçok bölgesinden çok farklı olarak yeraltı suları kontrol etmektedir

Atila [6] da Afyonkarahisar Ovası'nda yeraltısuyu kuyularındaki çekimlere bağlı olarak seviye düşüşlerinin belirlenmesine yönelik bir çalışma yapmıştır. Bu amaca yönelik olarak Modflow matematiksel modeli aracılığıyla ovadaki yeraltısuyu akımını modelleyerek, ovadaki hidrolik yük dağılımının yer ve zaman içindeki dağılımını

belirlemiştir. Araştırmacı ovanın genelindeki hidrolik yük dağılımının kuzeybatıdan güneydoğuya doğru azaldığını belirtmiştir. Modelleme sonucunda yeraltı suyu çekiminin 1976 yılından sonra arttığını, özellikle 1990 yılından sonra piyezometre seviyelerindeki düşüşlerin çok olduğunu belirtmiştir.

Yaşar ve diğerlerinin [7] de yapmış oldukları çalışmaya göre Beyşehir Gölü'nün ortalama denizden yüksekliği 1124 m'dir. Bu yükseklik periyodik zaman dilimi içinde maksimum 1126 m.'ye çıkmakta minimum 1121 m.'ye düşerek gölde 5 m'ye yaklaşan seviye farkı meydana gelmektedir. Türkiye'nin hala içilebilir nitelikte en büyük su deposu olan bu göl, gölden çeşitli amaçlarla gelişi güzel su çekilmesi nedeniyle yavaş yavaş yok olma, kirlenme ve bozulma tehlikesi ile karşı karşıyadır. Göl; 27 adet yazın kuruyan dere ile beslenmektedir. Göl üzerinde irili ufaklı 33 ada bulunmaktadır. Eni 10-25 km. boyu ise 45 km olan gölün en derin yeri 10 m.'dir

Nas ve diğerlerinin [8] de yapmış olduğu çalışma ışığında Beyşehir Gölü'nün dibi delik doğal bir baraj rezervuarı olarak kabul edebileceğini belirtmiştir. Buna göre gölün su tutabilmesinin en büyük şansı; yüzey sularının yanı sıra yeraltı sularından da büyük çapta beslenmesi, göl tabanının kuzey ve kuzeydoğudaki Sultandağları'nın geçirimsiz kayalarından göle gelen oldukça ince malzemeli (killi, marnlı) teressubatla dolmuş olması ve bu havzanın yer altı suyu drenaj alanın beslenim bölgesinde olduğundan karstik kanalların boşalım sahalarına nazaran daha az gelişmiş olmasıdır.

1.1.2 Optimizasyon İle İlgili Literatür Araştırması

İnsanlar, bilimsel yöntemin henüz tanımlanmadığı ilk çağlardan bu yana karşılaştıkları problemlerle başa çıkma, evreni anlama ve doğaya hakim olma, daha rahat ve güvenli yaşama isteği doğrultusunda; ya sistemin kendisi üzerinde veya soyut/somut bir modeli üzerinde deneyler yapma ihtiyacı hissetmişlerdir.

Günümüzde modelleme uygulamaları farklı alanlarda kullanılmaktadır. Ekoloji ve çevre bilimi, hava kirliliğinin önlenmesi, su dağılımı ve kontrolü, güç/enerji sistemleri, ulaşım sistemleri kontrolleri modelleme uygulamaları kullanılan alanlardan bazılarıdır.

Optimizasyon alanındaki ilk çalışmalar, 1933 yılında Leontief tarafından dış ticaret ve ekonomi yapılarını modellemek amacı ile yapılmış daha sonra 1939 yılında Rus matematikçi Kantorovich [9], üretim planlamasında en sıklıkla karşılaşılan problemlerin

modellenmesine ve elde edilebilecek en iyi sonuçları bulma metodlarını anlattığı makalesiyle modern üretim sistemlerinde optimizasyona olan ihtiyacı ortaya koymuştur.

Optimizasyon, bir sistemde varolan kaynakların (işgücü, zaman, kapital, süreçler, hammaddeler, kapasite, ekipman gibi) en verimli şekilde kullanılarak belirli amaçlara (maliyet en azaltılması, kâr en çoklanması, kapasite kullanımının en yükseltilmesi ve verimliliğin en çoklanması gibi) ulaşmayı sağlayan bir teknoloji olarak tanımlanmaktadır [10]. Bir başka tanım ile matematiksel programlama ya da optimizasyon terimi; bir gerçel fonksiyonu minimize ya da maksimize etmek amacı ile gerçel ya da tamsayı değerlerini tanımlı bir aralıkta seçip, fonksiyona yerleştirerek sistematik olarak bir problemi incelemek ya da çözmek işlemlerini ifade etmektedir [11].

Kısacası optimizasyon mevcut koşullar altında en iyiyi arayan, belirli kısıtlar altında bir fonksiyonun maksimum ya da minimumunun bulunmasıyla ilgilenen matematiksel bir süreçtir. Optimizasyon modelleri ise bir sistem çıktısını en iyilemek için, sistemin ilişkilerinin matematiksel ifadelerle tanımlanmış biçimidir.[11]

Literatürde optimizasyon problemlerinin içerdiği matematiksel problemlere göre de sınıflandırılabilirdiği görülmektedir. Bu sınıflar içerisinde doğrusal programlama, tam sayılı programlama, karesel programlama, tam sayılı olmayan programlama, doğrusal olmayan programlama, konveks programlama, skolastik programlama gibi matematiksel modeller yer almaktadır.

Son yıllarda matematiksel modeller ile optimum kapasite ve işletme kurallarını belirlemeye karşı artan ilgi bu konudaki bilimsel çalışmalara hız kazandırmıştır.

Su optimizasyonun öneminin anlaşıldığının ve uygulamaların gün geçtikçe arttığının örneği olarak 1975 yılında ABD’de gerçekleştirilen bir anket verilebilmektedir. Bu ankete göre 1975 yıllana kadar 536 adet suoptimizasyonu projesinin gerçekleştirildiği görülmektedir. Ancak çoğu modelleme çalışması gelişen teknolojik imkânlarla paralel olarak günümüze yakın tarihlerde yapılmıştır.

Ravikumar ve Venugopal [12] Güney Hindistan’da bulunan sulama amaçlı rezervuar sistemleri için matematiksel dinamik optimizasyon modeli hazırlamışlardır.

Jain ve ark. [13] 4 rezervuar, 3 kontrol çevirme yapısı olan Sabramatsulama sistemi için en uygun şekle sokma ve simülasyon modeli kurmuşlardır.

Hajilal ve ark. [14] Hindistan’da 15 günlük periyotları dikkate alarak sulama amaçlı hazneden çekilen suyu optimize etmişlerdir.

Getachew ve ark. [15], ABD’de doğrusal işletme kurallarından yararlanarak yeraltı ve sulama amaçlı rezervuar ortak sistemine optimizasyon ve simülasyon modeli yazmışlardır. Hindistan’da Srinivasan ve ark. (1999), tamsayılı doğrusal programla kritik dönemlerde hazne işletme parametrelerinin optimum değerlerini belirlemişlerdir.

Amit Sinha ve ark. [16] batı Hindistan’da çok amaçlı rezervuar sisteminde doğrusal olmayan optimizasyon programı ile çeşitli amaçları dikkate alarak optimum aktif kapasiteyi belirlemişlerdir.

Needham ve ark. [17] ABD’nin Iowa ve Des Moines nehirlerinde taşkın kontrolü için doğrusal programlamadan yararlanmışlardır.

Hugo [18] ABD’nin Kuzey Kaliforniya eyaletinde haznenin iklim ve hidrolojik değişkenlerini (yağış ve buharlaşmayı) dikkate alarak doğrusal programlama ile optimum kapasiteyi ve talepleri karşılayacak çıktılarının optimum değerlerini hesaplamışlardır.

Montaseri ve ark. [19] ardışık Pik Analizleri ve İran’la İngiltere verilerinden yararlanarak çok amaçlı çok rezervuarlı sistemlerde depo-çekim ilişkilerini ve ondan elde edilen faydaları belirlemişlerdir.

Ming-Yen ve ark. [20] Tayvan’da bulunan çok amaçlı çok rezervuarlı sistemde tamsayılı doğrusal programlama yardımı ile optimum işletme kurallarını belirlemişlerdir.

Sunita ve ark. [21] Hindistan’da Subernarekha nehri üzerinde bulunan 7 küçük ve büyük rezervuarlı havzada su tüketicileri arasında doğrusal programlama ile optimum paylaşımı yapmışlardır.

Hossein ve ark. [22] İran’da tamsayılı doğrusal programlama yöntemi ile kentsel su dağıtım sisteminin optimizasyonunu gerçekleştirmişlerdir.

Reis ve ark. [23] İngiltere’de genetik algoritma ve doğrusal programlama karışımı ile işletme kararını optimum periyotlar içinde hesaplamışlardır

1.2 Tezin Amacı

Kullanılabilir su kaynaklarının öneminin artmasına paralel olarak son yıllarda Beyşehir Gölü sorunlarının belirlenmesine yönelik çalışmalarda artış olmuştur. Gölün temel olarak özellikle göl su kalitesi ve miktarı ile de ilgili olmak üzere; yağışların yetersizliği ve gölden fazla su çekimi, gölün kirlenmesi, biyolojik çeşitliliğin tehdit altında olması ve idari yönden çok başlılık temel sorunlar olarak görünmektedir. Gölden içme ve sulama amaçlı su çekimi yapılmakta ancak ne zaman ne kadar su çekilmesi gerektiği ve optimum işletme kotu konusunda bir belirsizlik olup gölü işleten ve gölden yararlanan kurumlar arasında bir fikir birliği yoktur. Göl su seviyesi, sulamada kullanılan sular ve iklim koşulları nedeniyle sürekli değişimlere maruz kalmaktadır. Bu değişimin ne kadarının iklimden kaynaklandığı ne kadarının su kullanımından kaynaklandığının belirsizliğini koruması sürekli bir tartışma konusu olmaktadır. Söz konusu belirsizliğin ortadan kalkması için mevcut iklim verilerine bağlı Beyşehir gölünün optimum dinamik işletme modeli oluşturulması amaçlanmıştır. Bu model ile bölgedeki tarımsal faaliyetler için gölden çekilecek su miktarının ne olması gerektiği, iklim koşulları ile kaybolan su miktarının ne olacağı ve farklı iklim senaryoları altında göl su seviyesinin hangi kotta olacağının tahmin edilmesi amaçlanmıştır.

1.3 Hipotez

Yağış, sıcaklık ve dolayısı ile su kaynaklarındaki düzensizlikler kurak ve yarı-kurak alanlarda sulama amacıyla su depolama yapılarının yapılmasını ve su kaynaklarının bilinçli olarak kullanılmasını zorunlu hale getirmektedir. Yarı kurak bir iklime sahip olan Beyşehir yöresinde de yağışların zaman açısından düzgün dağılmaması, su kaynaklarının kısıtlılığı ve önemi göl yüzeyi su kotu ideal seviyesinin hesaplanması için yeni yöntemlere başvuruyu gerektirmektedir. Bu doğrultu son yıllarda modelleme çalışmalarında yaygın olarak kullanılan GAMS (The General Algebraic Modeling System) Paket Programı kullanılarak farklı senaryolar altında göl su seviyesi değerinin hesaplanabileceği öngörülmüştür.

METARYEL VE YÖNTEM

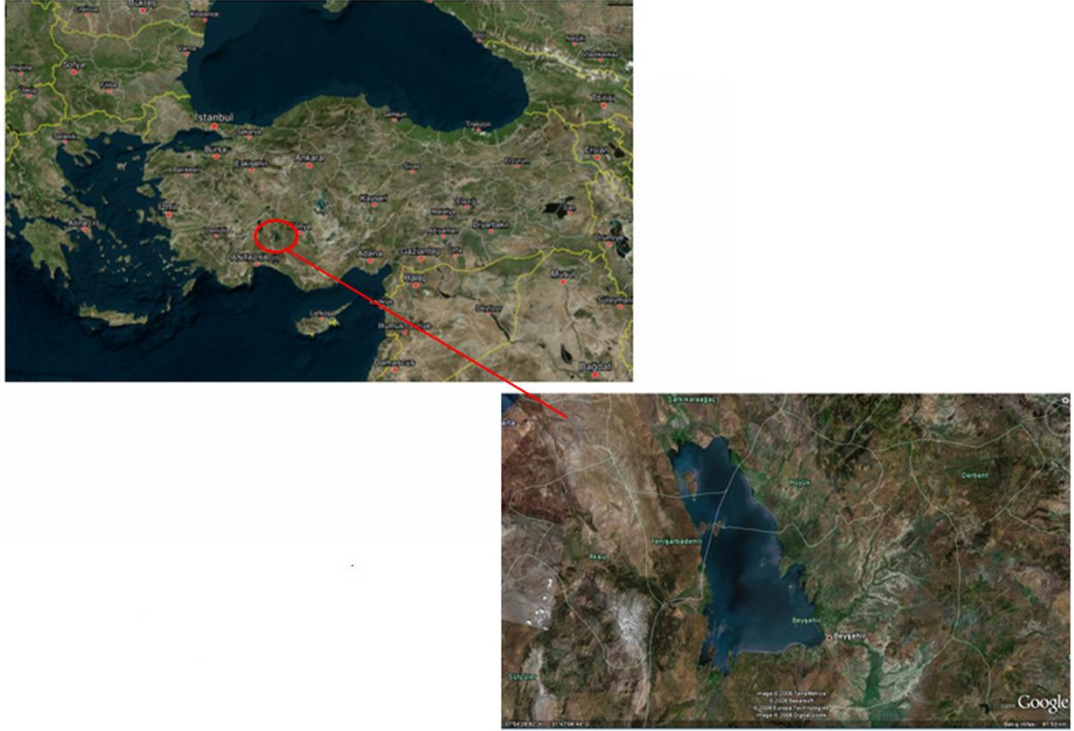
2.1 Giriş

Dünyada olduğu gibi ülkemizde de temiz su kaynakları her geçen gün daha da önem kazanmakta ve kaynaklarımızın değeri giderek artmaktadır. Ülkeler, kısıtlı su kaynaklarının korunması ve gelecek nesillere aktarılabilmesi için çalışmalarını arttırmakta su sorunu, uluslararası düzeye taşımaktadırlar. Öyleki su, sürdürülebilir kalkınma modellerinin temelini teşkil eden stratejik öneme sahip bir unsur haline gelmektedir. İlk defa 1992 yılında Rio de Janerio’da düzenlenen BM Çevre Ve Kalkınma Konferansı’nda uluslararası seviyede gündeme gelen su sorunu, beraberinde bu soruna dikkat çekmek için kutlanan 22 Mart “Dünya Su Günü” kavramını getirmiştir. Son zamanlarda dikkat çeken kavramlardan biri olan “su savaşları” deyimi, gelecekte dünya nüfusunun karşılanması zor kullanılabilir su ihtiyacı talebinin olumsuz sonuçlara yol açacağı endişesini barındırmaktadır.

Ülkemizin 2012 yılı nüfusu yaklaşık 75 milyon, kişi başına düşen su miktarı 1519 m³/yıl’dır [24]. Bu rakamlar ülkemizin su azlığı çeken bir ülke olduğunu göstermektedir. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2030 yılı için nüfusumuzun 100 milyon olacağını öngörmüştür. Bu durumda 2030 yılı için kişi başına düşen kullanılabilir su miktarı 1129 m³/yıl civarında olacaktır. Mevcut büyüme hızı, su tüketim alışkanlıklarının değişmesi gibi faktörlerin etkisi ile su kaynakları üzerine olabilecek baskıları tahmin etmek mümkündür. Türkiye’nin gelecek nesillerine sağlıklı ve yeterli su bırakabilmesi için kaynakların çok iyi korunup, akılcı kullanılması gerekmektedir.

2.2 Çalışma Alanı Beyşehir Gölü Havzası

Ülkemizde değişik büyüklüklerde 120’den fazla doğal göl bulunmaktadır. En büyük ve en derin gölümüz Van Gölü, İkinci büyük gölümüz ise Tuz Gölü’dür. Van Gölü suyu sodalı Tuz Gölü’nün suyu ise tuzludur. Konya kapalı havzasının güney batısında yer alan Beyşehir Gölü ise Türkiye’nin 3. büyük gölü ve daha da önemlisi en büyük tatlı su gölüdür. Beyşehir Gölü Havzası, İç Anadolu Bölgesi’nin en büyük kapalı havzası olan Konya Kapalı Havzası’nın en önemli bileşenlerindendir. Şekil 2.1’de 37° 45’ Kuzey 31° 36’ Doğu coğrafi koordinatlarında olan Beyşehir Gölü’nün konumu gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Beyşehir Gölü’nün konumu

Beyşehir Gölü’nün tatlı su gölü olması açısından ülkemiz için ayrı bir önemi bulunmaktadır. Gölde halen içme suyu temini (Beyşehir İlçesi ve 7 kasaba), tarımsal sulama (Konya Ovası, Şarkikaraağaç ve Kireli pompaj sulaması), balıkçılık, saz kesimi ve kum alımı başta olmak üzere çeşitli şekillerde ticari ve turistik amaçlı faydalanılmaktadır. Beyşehir Gölü doğal güzelliği, zengin biyolojik çeşitliliği ve

Türkiyenin en büyük tatlı su kaynağı olması nedeniyle Ramsar Sözleşmesi kriterlerine göre uluslararası öneme sahip bir sulak alandır. Beyşehir Gölü ve Kızıldağ Milli Parkları olmak üzere iki ayrı milli parkı içinde barındıran göl havzasının büyük bir kısmı koruma altına alınmıştır.

Beyşehir Gölü bir kısmı karstik batı Torosların kuzey yamaçlarında yer alan, Sultan ve Anamas Dağları arasında kalan kuzeybatı güneydoğu doğrultusundaki iki fay grubu arasında oluşmuş tektonik bir göldür. Gölün 523 km²'si Konya ili, 130 km²'si ise Isparta İli sınırları içindedir.

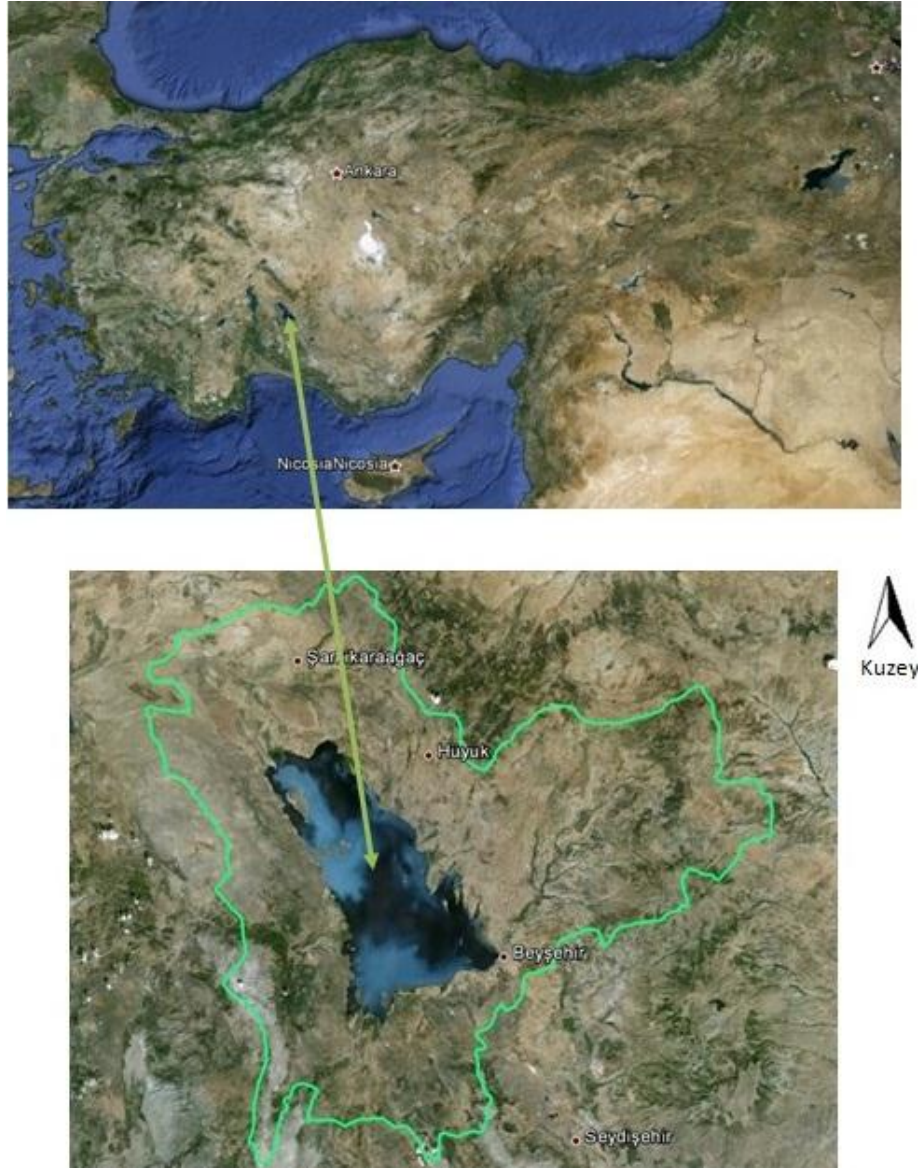
Gölün su seviye kotu 1120–1125,5 m arasında değişmekte olup, ortalama derinliği 8,5 m, boyu 44 km, eni 10-25 km arasında çevresi ise 120 km dir. Göl havza alanında 5 ilçe (Beyşehir, Hüyük, Derbent, Yenişarbademli, Şarkikaraağaç), 32 belediye ve 22 köy mevcuttur. Gölün beslenimi 9 ayrı alt havzadan gelen, Sultan ve Anamas dağlarından inen çaylar ve dereler, güneyindeki ve batısındaki mezozoik kalkerlerin çatlaklarından doğan pınarlar, göl dibindeki kaynaklar ve doğrudan göl yüzeyine düşen yağışlarla olmaktadır. Gölün en büyük çıkışı ise Çarşamba Çayı iledir.

Beyşehir Gölü Konya Su Toplama Havzasının batısında bulunan orman ve funda örtüsüne sahip göller bölgesi ile güneyindeki Toros Dağları yarı nemli kategoride, geri kalan bütün kesimi ise yarı kurak iklim özelliğine sahiptir. Beyşehir Gölü Havzası, kurak yarı nemli birinci mezotermal iklim tipinde olup, step bitki örtüsü genel olarak bölgenin ayırt edici özelliklerindendir. Bölgedeki hakim iklim özelliği yazları sıcak, kışları soğuk, kış ve ilkbaharda yağışlı olmasına karşın yazın ve sonbahar başlangıcında yarı kurak bir iklimle tanımlanmaktadır.

Beyşehir Gölü havza sınırları, doğuda kalan Konya karayolunun bulunduğu ovalık alan hariç dağlar ile çevrilidir. Göl'ün kuzeyde tektonik olarak bölgeye gelen Kızıldağ, kuzeydoğuda Sultandağları'nın uzantısı, batısı Anamas Dağları ve güneyi ise Gidengelmiz Dağları ile sınırlandırılmıştır. Doğu tarafı nispeten tarımsal faaliyetlerin yoğunlaştığı penneplen bir topoğrafik özelliğe sahip alüvyonal ovalık alandan oluşmaktadır.

Beyşehir Gölü Su Toplama Havzası, morfolojik olarak kapalı bir havza görünümünde olmakla birlikte, yüzey suyu yönünden doğudaki Çarşamba Suyu ile önce Suğla Ovası'na, daha sonra da Konya Ovasına sularını drene etmektedir. Havza Türkiye'nin

en önemli karst bölgelerinden biri olan Batı Toroslar içinde yer almaktadır. Bu Batı Toroslar bölgesinde karstlaşma deniz seviyesinde 2500–3000 m yükseklerden, deniz seviyesi altından 150–200 m derinliğe kadar her yerde gelişmiştir [8].Şekil 2.2’de Beyşehir Gölü Havzası’nın sınırları gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Çalışma alanının harita üzerindeki konumu

Türkiye'nin en büyük tatlı su gölü olan Beyşehir Gölü, 1988 yılında yürürlüğe giren Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'ne göre Göl, "İçme Suyu Rezervi" olarak kabul edilmiştir. Beyşehir Gölü ve çevresi tarihi kalıntıları, doğal jeomorfolojik oluşukları,

tabi bitki yayılımı, zengin kuş toplulukları ve hidrolojik özelliklerinden dolayı 1993 yılında “Beyşehir Gölü Milli Parkı” olarak ilan edilmiştir.

2.3 Beyşehir Gölü Havzası’nın Ve Gölün Sorunları

Kullanılabilir su kaynaklarının öneminin artmasına paralel olarak son yıllarda Beyşehir Gölü sorunlarının belirlenmesine yönelik çalışmalarda artış olmuştur. Gölün temel olarak özellikle göl su kalitesi ve miktarı ile de ilgili olmak üzere; yağışların yetersizliği ve gölden fazla su çekimi, gölün kirlenmesi, biyolojik çeşitliliğin tehdit altında olması ve idari yönden çok başlılık temel sorunlar olarak görülmektedir.

Gölden içme ve sulama amaçlı su çekimi yapılmakta ancak ne zaman ne kadar su çekilmesi gerektiği ve optimum işletme kotu konusunda bir belirsizlik olup gölü işleten ve gölden yararlanan kurumlar arasında bir fikir birliği yoktur. Göl su seviyesi, sulamada kullanılan sular ve iklim koşulları nedeniyle sürekli değişimlere maruz kalmaktadır ve su seviyesi kotu 1125,5 m ve 1121,5m arasında değişmektedir [7]. Bu değişimin ne kadarının iklimden kaynaklandığı ne kadarının su kullanımından kaynaklandığı sürekli bir tartışma konusu olmaktadır. Bu durum göl ve gölün hayatta tuttuğu tüm varlıkları olumsuz etkilemektedir. Sağlıklı bir su bilançosu olmamasına rağmen Beyşehir Gölü’nde su çekilmeye devam edilmektedir.

Beyşehir Gölü tatlı su gölü olması nedeniyle önceden beri içme suyu ve sulama suyu olarak kullanılmaktadır. 1987’den beri DSİ ve Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü tarafından gerçekleştirilen sulama projeleri ile gölden sistemli bir şekilde su çekilmeye başlanmıştır. Beyşehir Gölü’nün suyunun aşırı derecede çekilmesinde DSİ’ne ait pompaların yanı sıra çok miktarda bulunan küçük su pompaları (pancar motoru) da etkilidir. Bahar aylarında tarımsal faaliyetler ile başlayan yoğun su çekimi sonbahar aylarına kadar devam etmektedir.

Beyşehir Belediyesi ve Beyşehir Mimarlar, Mühendisler ve Şehir Plancıları Birliği’ne göre normal şartlarda göle yıllık giren su miktarı 600 milyon m³ çıkan su ise 500 milyon m³ olup kayıplar (kaçaklar, buharlaşma vb.) 100 milyon m³ civarındadır.

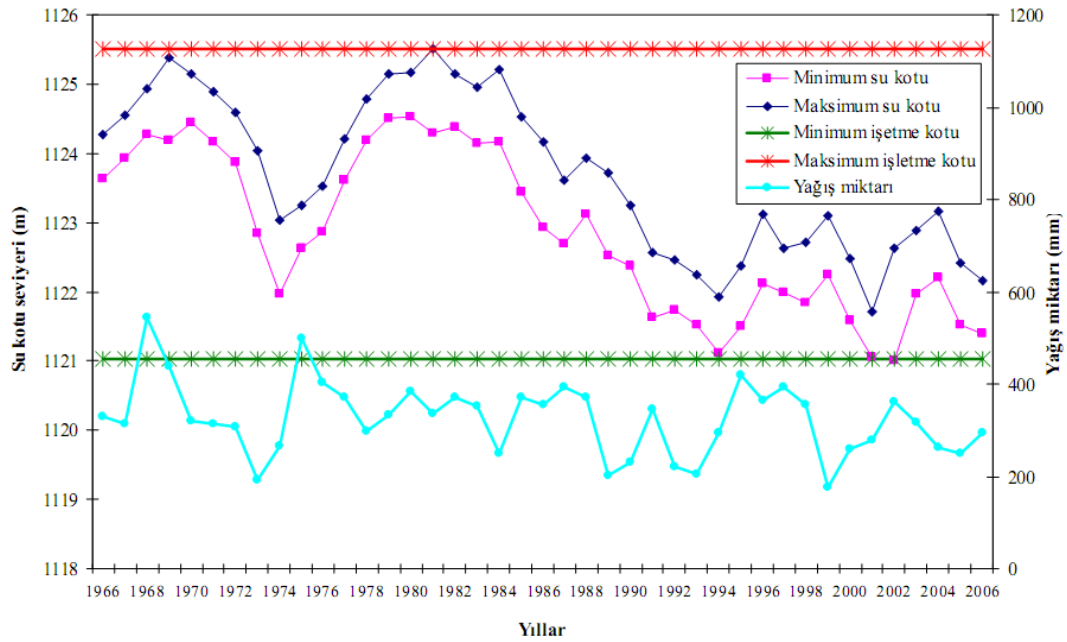
DSİ’ye göre ise giren su yağış durumuna göre 550 milyon–1,2 milyar m³ arasında değişmekte, yıllık 410–850 milyon m³ arası buharlaşma olmakta, verilen (çekilen) su ise 360 milyon m³ civarındadır. Bu nedenle göl su rezervi hassas bir durum arz etmektedir.

Beyşehir, Seydişehir, Çumra ve Gembos alt kapalı havzaları ve Göksu havzasının memba kesimini kapsayan ve değişik aşamadaki birçok alt projeden oluşan Konya-Çumra Projesi tamamlandığında toplam 310.000 hektar arazi sulanacaktır.

Beyşehir Gölünde 1966 yılından bu yana minumun ve maksimum su kotları DSİ verilerine göre Şekil 2.3’de verilmektedir. Aynı DSİ tarafından belirlenen minimum işletme kotu 1121,03 m, maksimum işletme kotu ise 1125,5 m dir.

Kültür ve Turizm Bakanlığı, Konya Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Bölge Kurulunun 21.08.2007 tarih ve 1868 numaralı kararı ile minimum işletme kotu olan 2008 yılında 1121,80 m, 2009 yılında 1122,10 m ve 2010 yılında ise 1122,40 m şeklinde uygulanmasına karar verilmiştir.

Şekil 2.3’den görüldüğü gibi göldeki su 1980’li yılların başından itibaren düşmeye başlamış ve 1994 yılından günümüze de bazı yıllarda minimum işletme kotunda kalmıştır.



Şekil 2.3 Beyşehir Gölü su kotu değişimi (DSİ)

Kot sorunun beraberinde getirdiği sorunların başında göl ekosisteminde oluşan değişimlerin balıkçılığı etkilemesi gelmektedir. Su seviyesindeki düşmeyle birlikte gölün hem yüzey alanı, hem de derinliği azalmaktadır. Gölün su kotundaki küçük

değişmeler bile göl çevresinde önemli miktarda sığ bölgelerin kurumasına veya su altında kalmasına neden olmaktadır. Bu şekildeki değişimler ile kuruyan bölgelerde bulunan flora ve fauna yok olabilmektedir. Ayrıca göl su seviyesindeki düşmeler kıyıların kurumasına bağlı olarak göl manzarasının bozulmasına ve havzadaki mikro ikliminin değişmesine neden olabilir. Su seviyesindeki azalmalar beraberinde havzadaki üç temel ekonomik faaliyet olan tarım, balıkçılık ve turizmi de olumsuz etkilemektedir [25].

Türkiye’de 1970–2011 yılları arası yıllık ortalama 643 mm yağış olurken Konya Kapalı Havzası’nda yıllık ortalama 318 mm yağış gerçekleşmiştir. Beyşehir’de ise ortalama 499,5 mm dir. Türkiye’de ve Konya’da mevsimsel değişimler olsa da 2000’li yıllardan itibaren gözlenen sürekli yağış azlığı 2009’dan itibaren yağışlı bir döneme girildiği görülmektedir. Buna göre havzada metrekareye 2009 yılında 410, 2010 yılında 352 ve 2011 yılında 413,4 mm yağış düşmüştür. Konya ovasında en çok tarımı yapılan havuç, mısır, şeker pancarı ve kavunun 2000-2010 yılları için hesaplanan ortalama yıllık bitki-su ihtiyaçları sırasıyla 694, 729, 908 ve 582 mm dir. Bu durumda yağışlı mevsimlerdeki göreceli fazla yağışında sulama ihtiyacını karşılamada çok yetersiz olacağı görülmektedir. Beyşehir Gölünde toplanan sular, yağışı düşük Konya Ovasında sulama için kullanıldığı dikkate alındığında Beyşehir Gölünün de konyadaki Bitki-su ihtiyacını karşılamayacağı çok açık görülmektedir. Dolayısıyla mevcut şartlarda Konya havzasını bekleyen ihmal edilemeyecek bir susuzluk tehlikesi söz konusudur. Tek su kaynağı üzerine düşen kısıtlı miktardaki yağış olan Konya Kapalı Havzası’nda mevcut su potansiyelinin çok daha bilinçli olarak kullanma zorunluluğu vardır. Tarımda daha çok sulama gerektiren bitki deseni seçimi nedeniyle gün geçtikçe sayıları hızla artan yeraltısu tüketimi ve bilinçsiz sulama teknikleri su kullanımını artırmakta ve dolayısıyla kaynakları hızla tüketmektedir. Yapım halindeki mavi tünel Konya Ovası Projesi (KOP) ile Göksu vadisinden transfer edilecek suyun yardımıyla nacak sürdürülebilir bir sulu tarım politikası izlenebilir. KOP projesi Beyşehir Gölü üzerindeki sulama suyu çekim stresini azaltacak ve Gölün eski doğal dengesini bulmasına katkıda bulunacaktır.

2.4 GAMS (The General Algebraic Modeling System) Yazılımı

Bilgi teknolojilerinin gelişiminin bir sonucu olarak mühendislik alanında kullanımları oldukça yaygınlaşan bilgisayar programlarını da kullanarak optimizasyon problemlerini çözebilmek mümkündür. Kullanımı en yaygın olan bilgisayar programları arasında CPLEX, Lindo, Lingo, Excel Solver, GAMS ve MATLAB bulunmaktadır. Bilgisayar programı yardımıyla çözüme ulaşmak analitik ya da grafik yolla çözüme ulaşma çabalarına göreceli olarak daha kolaydır. Ancak, oluşturulan modelin bilgisayar kod diline çevrilmesi gerek sanayi uygulamaları gerekse literatürel çalışmalarda uzun süreler alan aşamalardır [11].

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

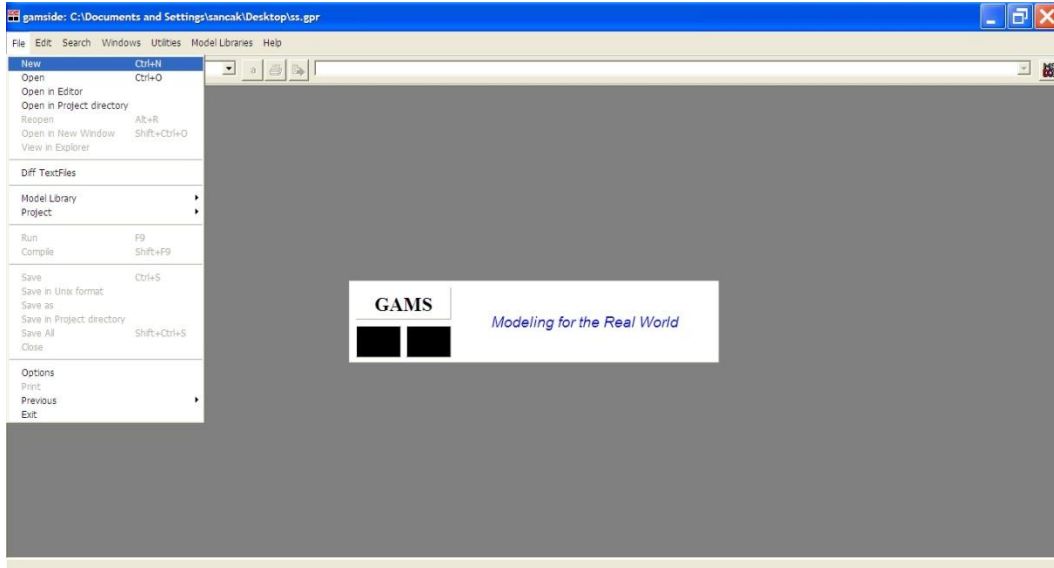
GAMS, matematiksel paket programlama içerisinde kullanılan en önemli programdan biridir. İlk olarak optimizasyon uzmanları Dr.Anthony Brooke ve Dr.Alexander Meercus tarafından dünya bankası için geliştirilmiştir. Kullanımı giderek artarak mühendislik problemlerinin çözümünde de kullanımı yaygın hale gelmiştir. Özel olarak doğrusal, doğrusal olmayan ve karmaşık tam sayı optimizasyon problemleri (minimizasyon, maksimizasyon ve simülasyon) modelleri için tasarlanmıştır. Fonksiyonel özellikleri ve 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 imkanı vermektedir.

GAMS programlama dili genel olarak kullanılan programlama dillerine benzemektedir. Lineer ve karma-tamsayılı programlama, kuadratik programlama, karma tamamlayıcı problemleri, lineer olmayan programlama, şebeke programlama gibi problemleri çözebilmek için IPOPT, CONPOT, CPLEX, OSL BPMLP, DECIS, XA SBB, SNOPT, PATH, MINOS, MPSGE, DICOPT gibi yazılımları çözüm aracı olarak kullanabilmektedir. IPOPT bu çalışmanın çözüm aracı olarak tercih edilmiştir.

Bir problemin GAMS yazılımı kullanılarak çözümü genel olarak yedi adımda gerçekleştirilmektedir. Bu adımlar şunlardır;

- 1- İndislerin tanımlanması
- 2- Sabit verilerin tanımlanması
- 3- Değişkenlerin tanımlanması
- 4- Denklem ve kısıt fonksiyonlarının tanımlanması
- 5- Modele dahil edilmesi istenen kısıt ve denklemlerin yazılması
- 6- Çözüm yönteminin seçilmesi
- 7- Sonuçların değerlendirilmesi

GAMS modeli ile çalışıldığında “.gms” uzantılı bir dosya oluşur. Bu dosya standart olarak \Belgelerim\gamsdir klasöründe saklanır. Program çalıştırıldığında kullanıcı tarafından görülen arayüz Şekil 2.4’teki gibidir.



Şekil 2.4 GAMS yazılımı kullanıcı arayüzü

2.4.1 İndislerin Tanımlanması

GAMS yazılımında indisler büyük önem taşımaktadır. Model içerisinde değişken ve denklemler arasındaki bağlantılar indisler kullanılarak sağlanmaktadır. İndislerin tanımlanması için “set” komutu kullanılır. İndis olarak rakam, kelime ya da harfler

kullanılabilir. Örneğin yıl içerisinde her aya sayısal bir değer vermek suretiyle aşağıdaki komut kullanılarak her bir ay için bir indis tanımı yapılmış olur.

“Set A /1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12/”

Tanımı yapılan bu indisler kendi içinde de kullanım amacına uygun olarak alt indislere ayrılabilir. Örneğin yukarıda rakamlar kullanılarak indislere ayrılan bir yılı sıcak (yaz ayları) ve soğuk (kış ayları) aylar olarak iki alt indise ayırmak için aşağıdaki komut kullanılır.

“YAZ (A) /5,6,7,8,9/”

“KIS (A) /1,2,3,4,10,11,12/”

2.4.2 Sabit Verilerin Tanımlanması

GAMS yazılımında veri girişleri üç yolla yapılabilmektedir. Veri girişleri için kullanılan komutlar scalars, parameters ve table komutlarıdır.

Sabit veriler scalars komutu kullanılarak tanımlanır. Örneğin bu çalışmada sabit değer olarak kabul edilen havza alanı değeri aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

“Ah /413725/”

Burada “/” işaretinden önce gelen “Ah” ifadesi kullanıcı tarafından uygun görülen ve havza alanını temsil eden terimdir.

Tek boyutlu matrisler ise parameters komutu ile tanımlanmaktadır. Örneğin 2.4.1 başlığı altında anlatıldığı şekilde indis tanımı yapılmış bir yıl içerisinde gözlenen yağışlar modele girilmek istenirse aşağıdaki komut yazılabilir:

“Ya (A) /1 109,2 93,3 155.8,4 80.5,5 58.8,6 22,7 1.4,8 20,9 53.6,10 312.8,11 143.6,12 2.2/”

Yukarıdaki ifade ile 1.ayda 109 birim, 2.ayda 93 birim... Yağış düştüğü tanımlanmıştır.

Birden fazla boyuta sahip matrisler ise table komutu ile tanımlanmaktadır. Örneğin 5 yıl boyunca yılın her ayında düşen yağış miktarının modele girilmesi Şekil 2.5’de gösterilmektedir.

table ya (A,Y) yağış miktarı (mm)					
	1	2	3	4	5
1	109	141.2	28.6	142.6	89
2	93	62.8	56.8	243.8	59.4
3	155.8	97.4	80.8	114.2	18.8
4	80.4	26	43	103.6	66
5	58.8	9.4	32.6	103	22.5
6	22	36.8	14.4	12.40	83.7
7	1.4	20	14.8	7	4.5
8	20	24.6	14.8	16.80	7.8
9	53.6	26	172	36.99	7.5
10	312.8	66	76.4	28.4	14.2
11	143.6	281.2	73.6	147.4	73.7
12	2.2	313.8	165.6	246	123

Şekil 2.5 Table komutu ile veri girişi yapılması

Burada satırlar sets komutu ile tanımlanan A indisi (aylar) sayısı kadar, sütunlar ise sets komutu ile tanımlanan B (yıllar) indisi sayısı kadar olmalıdır.

2.4.3 Değişkenlerin Tanımlanması

GAMS yazılımı ile oluşturulan modellerde değişkenler 5 çeşit yoldan biri kullanılarak tanımlanmaktadır. Bunlar; variables (serbest değişkenler), positive variables (pozitif değişkenler), negative variables (negatif değişkenler), integer variables (tamsayı değişkenler) ve binary variables (0 ya da 1).Örneğin bu çalışmada negatif olması mümkün olmayan ve yılın her ayı farklı değerlere sahip olabileceği varsayılan güncel göl hacim değeri “positive variables” komutu altında “VgB (A,Y)” olarak tanımlanmıştır.

Modele tanımlanan değişkenlere alt ve üst sınır konulabilmektedir. Örneğin bu modelde Beyşehir Gölü hacminin müsaade edilebilecek en düşük hacim değeri 1185,4 hm³ olması istendiğinden, bu değişken “VgB.lo=1185,4” komutu ile sınırlandırılmıştır.Üst sınır koymak için ise “.up” komutu kullanılmaktadır.

2.4.4 Denklem ve Kısıt Fonksiyonlarının Tanımlanması

GAMS ile oluşturulan modellerde denklemlerin tanımlanması iki adımda yapılmaktadır. İlk adımda tüm denklem ve kısıt fonksiyonlarının adları girilmekte daha sonra adı belirli her denklem yazılmaktadır. Kullanılacak tüm denklem ve eşitsizlik adları ilk adımda tanımlanmalıdır.

Denklem isimleri “equations” komutu kullanılarak tanımlanmaktadır. Örneğin bu çalışmada tanımlanan 28 denklemden biri olan Beyşehir Gölü hacim denklemi aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

“VgBD(A,Y) Beyşehir Gölü Hacim Hacim Denklemi”

Göl hacim denklemi sonucu ay ve yıla göre değiştiğinden denklem tanımlanırken “(A,Y)” indisleri de yazılmaktadır. Parantez kapandıktan sonra yazılan “Beyşehir Gölü Hacim Hacim Denklemi” ifadesi modele dahil olmayan, kullanıcıyı bilgilendirmek amaçlı yazılan ifadelerdir.

Sonucu sabit bir değer olarak elde edilecek denklemlerde sadece denklem adı yazılır, indis kullanılmaz. Örneğin bu çalışmada 5 yılsonunda kar ve zararların toplanması ile sayısal bir değer olarak elde edilen “Fayda” teriminin hesaplandığı denklemin adı objective olarak belirlenmiş ve “OBJECTIVE FAYDA DENKLEMİ” olarak tanımlanmıştır.

2.4.5 Modele Dahil Edilmesi İstenen Kısıt ve Denklemlerin Yazılması

İlk adımda adları tanımlanan denklemler ikinci adımda yazılmaktadır. Denklemlerin yazılması aşağıdaki kalıba göre yapılmaktadır:

Denklem_adı..ifade1=işlem=ifade2;

“Denklem_adı” ifadesi ile kastedilen ilk adımda tanımlanan denklem adlarından birisidir. Daha sonra yazılan “..” ifadesi denklemin adı ile açılımını ayırmak için kullanılmaktadır. Denklemin sağ ve solu arasındaki ilişkinin ne olacağı “işlem” ifadesi ile belirlenmektedir. GAMS yazılımında kullanılan operatörler şunlardır:

=E= Denklemin sağ ve solunun eşit olduğunu ifade eder (=)

=G= Denklemin solu, denklemin sağından büyük ya da eşittir. (>=)

=L= Denklemin solu, denklemin sağından küçük ya da eşittir.($\leq$)

Örneğin bu çalışmada Beyşehir Gölü güncel hacim denklemi olan $V_{gBD}(A,Y)$ aşağıdaki gibi yazılmıştır.

$$V_{gBD}(A,Y) = V_{gB}(A,Y) - V_g(A,Y) - Q_{SAL}(A,Y) - Q_{TAS}(A,Y)$$

Bu denklemde pozitif değişken olarak tanımlanmış (positive variables) değişkenler kullanılmıştır. (Güncel göl hacmi = Güncel Hacim- Salınan Hacim-Taşkın Hacmi)

Denklemler yazılırken “\$” operatörü kullanılarak mantık ilişkisi oluşturulabilir. Örneğin bu çalışmada her ay yüzeysel akış ile göle giren hacim olan $QY(A,Y)$ değişkeni tanımladığımız iki denklemden biri ile hesaplanmaktadır.

Buna göre,yılın her ayında farklı değere sahip olan bitki su ihtiyacının “ $bsi(A,Y)$ ”,yılın her ayında farklı değerlere sahip yağış miktarından $ya(A,Y)$ az olduğu aylarda yüzeysel akış miktarı aşağıdaki denklem ile hesaplanmaktadır;

$$QYAD1(A,Y) \$ ((bsi(A,Y)-ya(A,Y)) < 0) ..$$

$$QYA(A,Y) = e = Ah * c * (ya(A,Y) - bsi(A,Y)) * (0.00001) * DEY$$

(Bitki Su İhtiyacı Yüksekliği-Yağış Yüksekliği < 0 ise

Yüzeysel Akış Hacmi = Havza Alanı * Yüzeysel Akış Katsayısı * (Yağış Yüksekliği- Bitki Su ihtiyacı Yüksekliği)*Sayı*Katsayı)

Tersi durumda ise $QYA(A,Y)$ değeri aşağıdaki denklem ile hesaplanmaktadır;

$$QYAD2(A,Y) \$ ((bsi(A,Y)-ya(A,Y)) > 0) .. QYA(A,Y) = e = 0$$

2.4.6 Çözüm Yönteminin Seçilmesi

Denklemlerin tanımlanması ve yazılmasından sonra modelin çözümü için gerekli komutların verilmesi gerekmektedir. Bunun için öncelikle modele isim verilerek hangi denklemlerin hesaba gireceği tanımlanır. Bu çalışmada modelin adı “BEYSEHİR_OPTİMİZASYON” olarak seçilecek olursa ve tüm denklemlerin modelleme hesabında kullanılması isteniyorsa aşağıdaki komut kullanılarak tanımlama yapılmış olur.

$$model BEYSEHİR_OPTİMİZASYON/all/;$$

Bu komut gereksiz gibi gözüke de bir GAMS modeli üzerinden birçok model çalıştırmak isteyen kullanıcılar için çok kullanışlı olduğu belirtilmektedir.

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

Solve Model_Adı using çözüm_yöntemi maximizing/minimizing amaç_fonksiyonu

Burada Model_Adı ifadesi bir önceki adımda modele verilen isimdir.

Using komutu kullanılmak istenen yöntemi seçmek için kullanılır.

Çözüm_yöntemi ifadesi yerine modelin yapısına uygun olarak seçilen ve GAMS paket programı bünyesinde bulunan bir çözüm yönteminin seçilmesi gerekmektedir. GAMS içinde bulunan 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. Bu çalışmada çözüm yönteminin seçildiği “solve” komutunun uygulandığı aşağıdaki gibidir;

“Solve BEYSEHiR_OPTiMiZASYON using NLP maximizing FAYDA ;”

2.4.7 Sonuçların Değerlendirilmesi

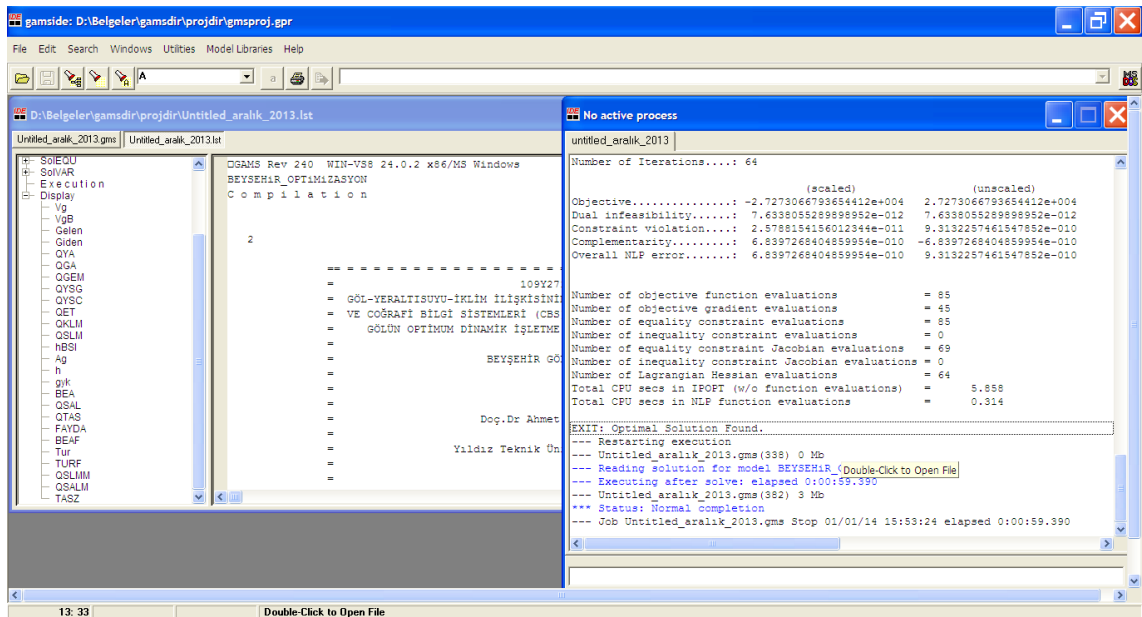
Çözüm yönteminin belirlendiği komutun oluşturulması ile model kurulmuş olur. GAMS yazılımı bünyesinde çok sayıda çözücü algoritma barındırmaktadır. Problemin lineer, lineer olmayan ya da daha farklı yapılarına göre uygun çözücülerden biri ile

çözüm yapılır. Programın temel çözücüsü CONOPT isimli algoritmadır. Hesaplama süresi seçilen çözücüye göre değişmektedir. Çözücü seçimi “option” komutu kullanılarak yapılabilir. Örneğin bu modelde çözücü olarak CONOPT’a göre daha kısa sürede sonuç veren IPOPT çözücüsü kullanılmıştır. Her çözücü logaritma için ayrı ayrı lisans satın alınmaktadır. Temel çözücü logaritma CONOPT logaritmasıdır. Seçim komutu aşağıdaki gibi yazılmıştır;

“option nlp=ipopt;”

Son olarak modelleme sonundaki değerleri görülmek istenilen terimler “display” komutu kullanılarak listenebilir.

Model çalıştırıldıktan sonra hesaplama yapılmakta ve herhangi bir yazım yanlışı olmaması halinde karşımıza çeşitli bilgiler içeren iki pencere çıkmaktadır. (Şekil 2.6)



Şekil 2.6 GAMS Sonuç Raporu

İlk olarak değerlendirilmesi gereken en önemli husus hesaplamaların normal olarak tamamlanıp tamamlanmadığı ve optimum sonuca ulaşıp ulaşılmadığıdır. Bu bilgi hesaplama sonunda komut girişleri ekranından bağımsız olarak açılan penceredeki raporun son bölümü ile anlaşılmaktadır. Hesaplama sonuçları uzantısı “.lst” olan bir pencere ile komut ekranının yanına eklenilir.”Display” komutu kullanılarak değerleri elde edilmek istenen bilinmeyenlerin modelleme sonucu değerleri en altta bulunmaktadır.

GÖL İŞLETME MODELİNİN OLUŞTURULMASI VE BEYŞEHİR GÖLÜ MODELİ

3.1 Modelleme Kapsamı ve Tanımı

Su kaynakları yönetiminde genel olarak optimizasyon çalışmalarında amaç fonksiyonları ve kısıtlar, karar değişkenlerinin doğrusal fonksiyonu olarak dikkate alınır. Birçok karar problemlerinde, bu tür doğrusal fonksiyonların kullanımı uygundur. Optimizasyon problemlerinin diğer tipleri, karar değişkenlerinin fonksiyonları ve kısıtları içerir. Bu tipteki problemler doğrusal olmayan programlama (NLP) problemleri olarak adlandırılır. Bir NLP probleminin formüle edilme işlemi nerdeyse bir doğrusal programlama (LP) probleminin formüle edilmesi ile aynıdır. Her iki durumda da programlayıcı uygun karar değişkenlerini belirlemeli ve bu değişkenleri kullanarak uygun amaç fonksiyonları ve kısıtları formüle etmelidir. NLP problemlerinin hazırlanması ve çözülmesi LP problemleri ile benzerdir. Bununla birlikte NLP problemlerinin çözümündeki matematiksel işlemler farklıdır [26].

Beyşehir Gölü doğal bir göl olmasına rağmen, Beyşehir ilçesinde bulunan regülatörler ile gerekli görülen hallerde kontrollü olarak su salınabilmesi, göle doğal bir baraj olma özelliği sağlamaktadır. Ancak hangi aylarda ne kadar su salınması ve göl yüzey kotunun minimum kotunun ne olması gerektiği hususunda regülatörü kontrol eden DSİ ve yerel otoriteler arasında fikir birliği sağlanamamaktadır. Gelecek aylarda su seviyesinin yaklaşık olarak hangi kotda olacağı belirsiz kalmaktadır. Az su salınımı taşkın riskini arttırmakta, tarım gelirlerini azaltmaktadır. Fazla salınım ise gölde kuruma riski oluşturmakta, turizm gelirlerini azaltmakla beraber yerel halkın tepki göstermesine neden olmaktadır.

Yapılan modelleme çalışmasında su çevrimine olan etkisi olan girdiler belirlenmiş, literatür araştırması yapılarak bu unsurlara maddi değerler atanmış, lineer olmayan programlama yöntemleri kullanılarak, kar-kazar hesabı yapılmış ve optimum göl su seviyesi kotu ve salınabilecek su hacim değerleri tespit edilmiştir.

Beyşehir Gölü basitçe Şekil 3.1'deki gibi ifade edilecek olursa optimizasyon modeli temel girdileri aşağıdaki gibi olmaktadır:

QYA: Yüzeysel akış ile göle ulaşan su hacmi

QGA: Yağış ile direkt olarak göle düşen su hacmi

QYSG ve QYSC: Yer altı suyu giren su ve çıkan su hacmi

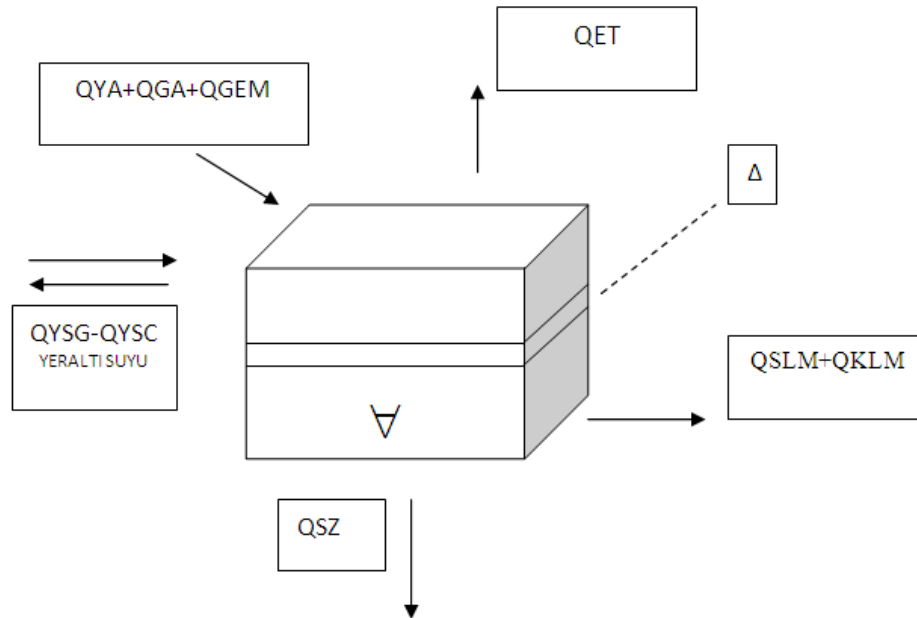
QGEM: Gembos Derivasyon Kanalı ile göle giren su hacmi

QET: Göl yüzeyinden buharlaşan su hacmi

QSZ: Sızma sonucu uzaklaşan su hacmi

QSLM: Sulama amacı ile salınan su hacmi

QKLM: İçme ve kullanım amaçlı salınan su.



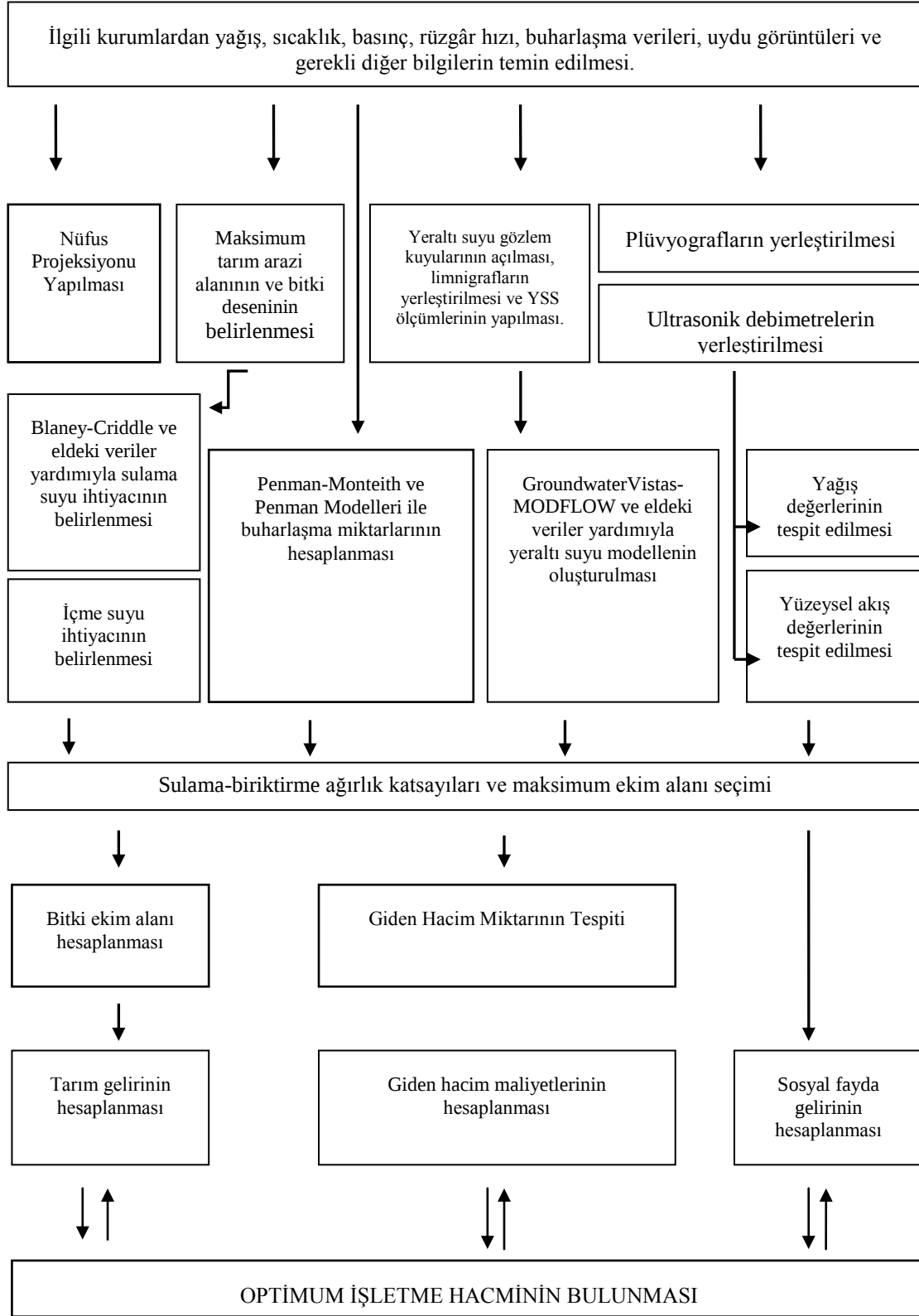
Şekil 3.1 Göl optimizasyon modeli temel girdileri

Model girdilerine etki eden çeşitli iklimsel ve coğrafi değişkenler bulunmaktadır.

İklimsel değişkenler dikkate alınarak;

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

Tüm bu çalışmalar sonucu elde edilen değerler GAMS optimizasyon yazılımına aktararak modele son şekli verilmiştir. Modelin oluşturulmasına ait iş akış diyagramı Şekil 3.2’de bulunmaktadır.



Şekil 3.2 Optimizasyon Modeli Akış Diyagramı

Optimizasyon probleminin GAMS kullanarak modellenmesinde genel yol olarak izlenen aşağıdaki sıra izlenmiştir;

- İndislerin tanımlanması
- Girdilerin tanımlanması
- Serbest ve pozitif değişkenlerin tanımlanması
- Denklemlerin, amaç fonksiyonu ve kısıtların tanımlanması
- Çözülecek denklem ve kısıtların belirtilmesi
- Çözüm yönteminin seçilmesi
- Sonuçların değerlendirilmesi

3.2 İndislerin Tanımlanması

GAMS modelleme programında indisler sets komutu kullanılarak oluşturulmaktadır. Bu çalışmada kullanılan indisler yıllar ve ayları temsil etmektedir. Model 5 yıllık veriler kullanılarak oluşturulmuştur. Kullanıcı tercihinine göre süre istenildiği kadar uzatılabilmektedir. Hesaplamalar aylık adımlarda yapılmaktadır.

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

Yılların tanımlanması;

Y /1,2,3,4,5/

Ayların tanımlanması;

A /1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12/

Yaz aylarının tanımlanması;

YAZ(A) /5,6,7,8,9/

Kış aylarının tanımlanması;

KIS(A) /1,2,3,4,10,11,12/

3.3 Girdilerin Tanımlanması

İndislerin tanımlanmasından sonra modele etki eden girdiler tanımlanmıştır. Bazı girdiler, yılın her ayı farklı değerlere sahip iken bazıları her zaman sabit kalmaktadır. Tanımlanan girdiler şunlardır;

ya(A,Y) : Yağış miktarı (mm/ay)

bh(A,Y) : Buharlaşma yüksekliği (mm/ay)

bsi(A,Y): Bitki su ihtiyacı (mm/ay)

ks(A,Y) : Kullanım suyu (hm³/ay)

Bu girdilerden aylık yağış miktarı, meteoroloji istasyonu tarafından yapılan ölçüm sonuçlarından; buharlaşma yüksekliği, kullanım suyu ve bitki su ihtiyacı ise GAMS dışında Penman-Monteith ve Blaney-Criddle denklem takımları kullanılarak elde edilmektedir.

3.3.1 Yağış Değerlerinin Elde Edilmesi

Çalışma alanında mevcut meteoroloji verileri DSİ ve DMİ istasyonlarından elde edilmiştir. Beyşehir Gölü Havza alanı ve yakın çevresindeki 18 adet meteoroloji istasyonunun verileri incelenerek gerekli olan veriler DSİ ve DMİ'den elde edilmiştir. İncelenen istasyonlardan Beyşehir meteoroloji istasyonu tam teşekküllü olup, Seydişehir ve Şarkikaraağaç'ta yağış-sıcaklık, Tolca, Çeltekin, Gedikli, Yeşildağ ve Gölyaka'da yağış-buharlaşma, diğerlerinde ise yağış rasadı yapılmaktadır.

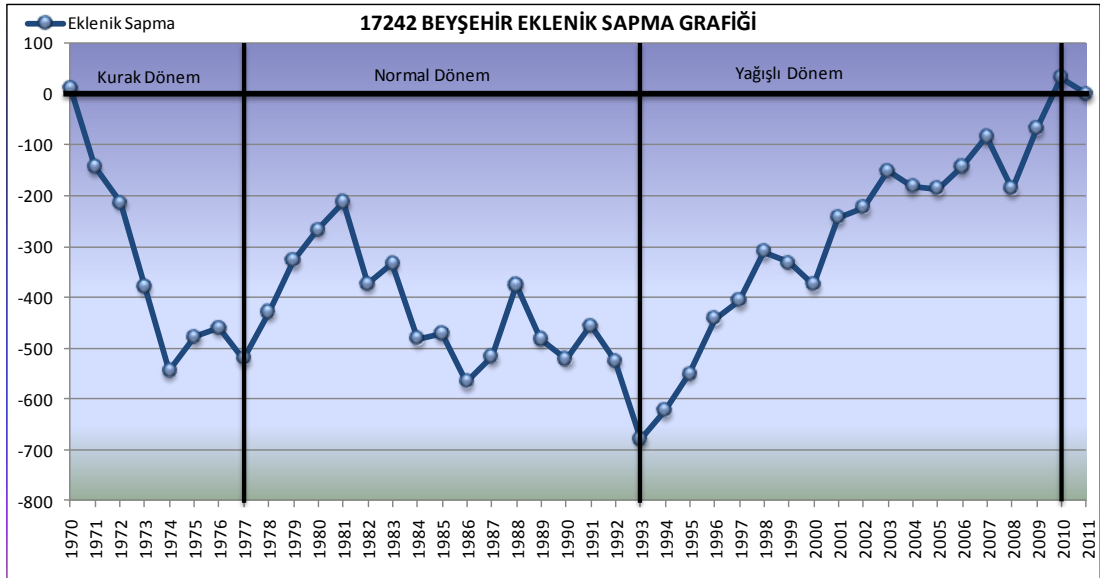
Beyşehir Gölü su toplama alanı ve yakın çevresindeki yağışlar, genellikle kış ve ilkbahar aylarında düşmektedir. Kış aylarında çoğunlukla kar şeklindedir. Yağışlar güneybatıdan kuzeydoğu istikametine gidildikçe azalmaktadır. Beyşehir Gölü etrafındaki istasyonlara ait uzun yıllar aritmetik ortalama yağış değerleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Beyşehir Gölü etrafındaki istasyonlara ait uzun yıllar ortalama yağış değerleri [27]

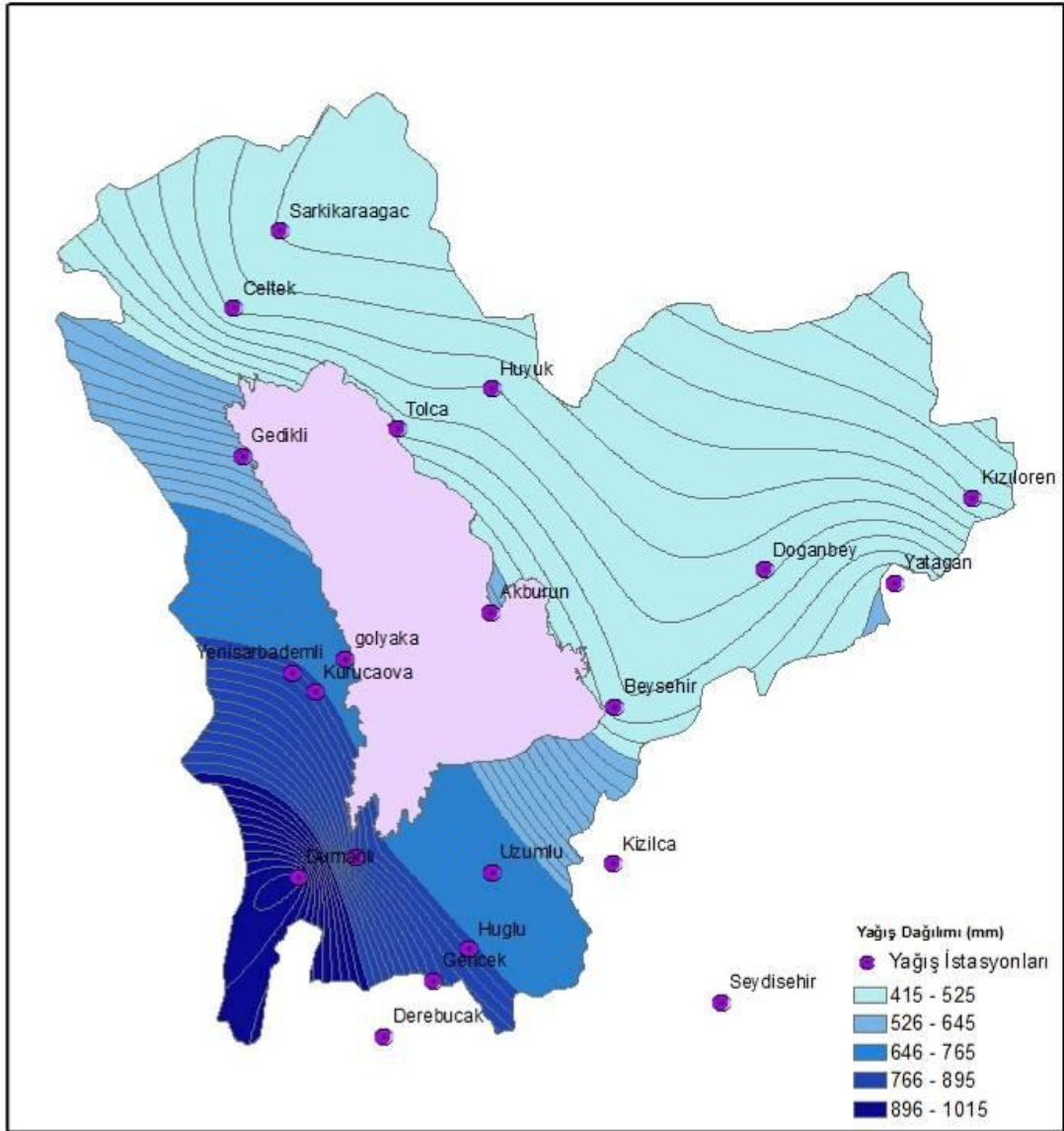
Meteoroloji istasyonu	Ortalama Yıllık Toplam Yağış (mm)
Beyşehir	483
Yenişarbademli	747
Tolca	471
Gedikli	657
Dumanlı	1281
Yeşildağ	609
Gölyaka	705

Ayrıca Beyşehir istasyonu için hazırlanan yıllık toplam yağış ve eklenik sapma grafikleri Şekil 3.3’de verilmiştir. Eklenik sapma grafiklerine bakılarak hangi dönemler yağışlı, kurak ya da normal dönem olduğu görülebilir.

Uzun yıllar ortalama yağış haritası Şekil 3.4’de verilmiştir. Bu haritaya göre Beyşehir gölünün güney batı kısımlarının daha fazla yağış aldığı görülmektedir. Gembos ovasının da bulunduğu bu bölgeden gelen yağış sularının Beyşehir gölüne katkısı oldukça önemli miktardadır. Göl, havzanın kuzey doğu kısmından nispeten daha az beslenmektedir.



Şekil 3.3 Beyşehir istasyonu yıllık toplam yağış ve eklenik sapma grafiği [27]



Şekil 3.4 Beyşehir Gölü uzun yıllar yağış ortalama haritası [27]

3.3.2 Buharlaşma Miktarının Tespit Edilmesi $b_h(A,Y)$

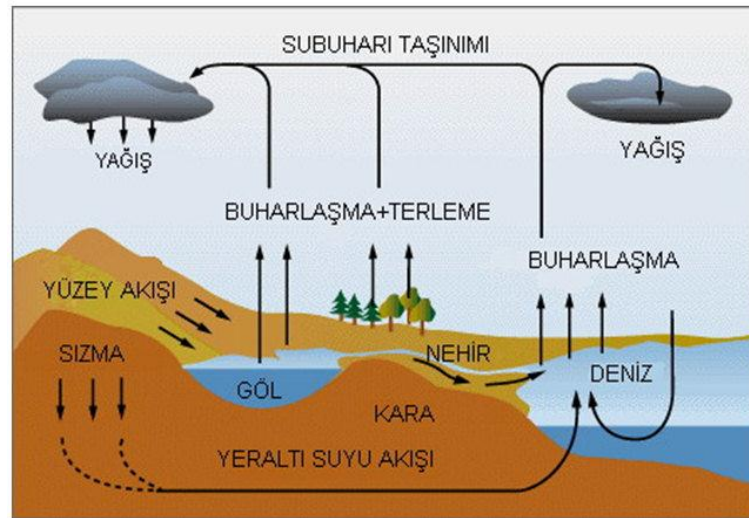
Buharlaşma miktarı bu çalışma ile oluşturulan modelin en önemli girdi değerlerini oluşturmaktadır. Göl yüzeyinden buharlaşan su miktarı modele direkt olarak etki ederken, bitki su ihtiyacını etkileyen buharlaşma miktarı da bitki cinsine bağlı olarak modele dahil olmaktadır.

Bir hal değiştirme olayı olan buharlaşma; yağış sularının sıcaklık, rüzgar vb. sonucu hal değiştirip gaz haline dönüşmesine denir. Buharlaşmanın doğrudan hesaplanabilmesi zordur. İklim şartlarının, zemin yapısının, bitki örtüsü gibi etkenlerin farklı zaman ve

farklı noktalarda çok değişiklikler göstermesi, buharlaşma hesaplarını da zorlaştırır. Buharlaşma miktarı, çeşitli aletlerle ölçölür veya ampirik formüller kullanılarak hesaplanır. Don mevsimi boyunca buharlaşma ölçüm aletleri kullanılamadığından bu mevsimdeki buharlaşma miktarlarının bulunmasında ampirik formüller kullanılır. Buharlaşma miktarları hesabında, karasal ortam için günlük potansiyel buharlaşma tahminlerinde kullanılan yöntemlerden biri FAO (Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Organizasyonu) tarafından önerilen Penman-Monteith, göl yüzeyinden meydana gelen buharlaşma miktarı hesabı için ise bitki çeşidini dikkate almayan Penman Denklemleri kullanılmıştır. Böylece mümkün olan tüm çevresel koşullarının modele etki etmesi amaçlanmıştır.

Penman-Monteith Denklemi

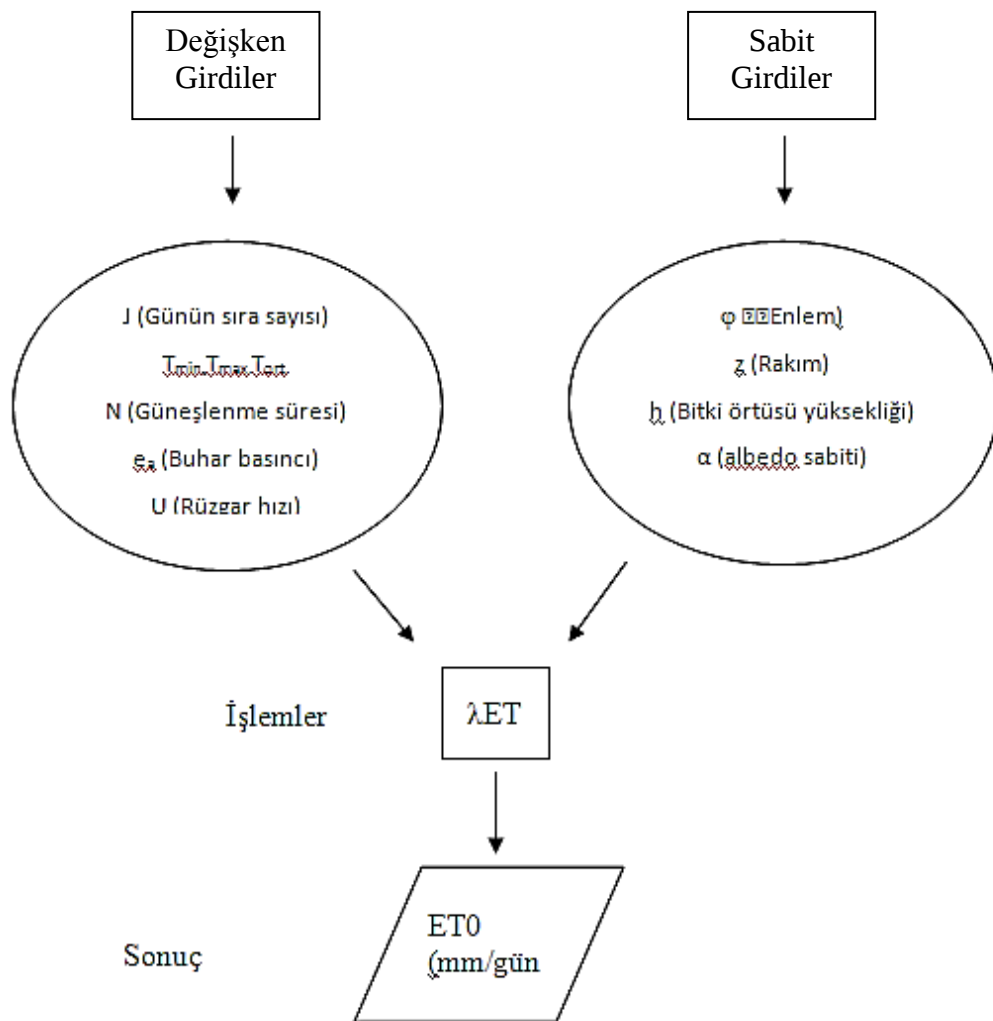
Penman-Monteith denkleminde meydana gelen buharlaşma miktarı diğer buharlaşma tahmin yöntemlerine benzer şekilde mevcut enerjiye, kütle ve transfer enerji mekanizmasına, güneş radyasyonuna, rüzgâr hızına ve atmosfer basıncına bağlıdır. (Şekil 3.5) Sonuç olarak buharlaşma miktarı çevresel koşulların bir fonksiyonu olmaktadır. Buharlaşma olayının karmaşık ve doğrusal olmayan değişkenleri literatürdeki birçok buharlaşma miktarı tahmin yöntemlerinin ampirik olarak gelişmesine neden olmuştur. Bu nedenle en iyi çözümü veren denklemin belirlenmesi oldukça güç olmaktadır.[28]



Şekil 3.5 Su çevrimi

Beyşehir Havzası için yapılan hesaplamalarda sabit girdiler; enlem ($37^{\circ} 41''$), rakım (1144 m), albedo sabiti (hafif bitki örtüsü olması hali 0,22), bitki örtüsü yüksekliği (0,12 m) olmaktadır. Değişken girdiler ise, günün yıl içerisindeki sıra sayısı, sıcaklık değerleri, günlük güneşlenme süreleri, buhar basıncı ve rüzgar hızı olmaktadır. (Şekil 3.6)

Sıcaklık değerleri, güneşlenme süreleri, buhar basıncı ve rüzgar hızı değerleri Beyşehir Meteoroloji İstasyonu tarafından elde edilen ölçüm sonuçlarından elde edilmiştir.



Şekil 3.6 Penman-Monteith denklemi mimari yapısı [29]

Bu çalışmada karasal buharlaşma hesabında kullanılan, Penman-Monteith Denklemi aşağıdaki gibidir [30];

$$\lambda ET = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho_a C_p \frac{(e_s - e_a)}{r_a}}{\Delta + \gamma(1 + \frac{r_s}{r_a})} \quad (3.1)$$

Burada;

λ Suyun buharlaşma ısısı (MJ/kg), ET Buharlaşma (mm/gün), Δ Doymuş buhar basıncı sıcaklık eğrisinin eğimi (kPa/°C), γ Psikrometrik sabit (kPa/°C), R_n Net Radyasyon (MJ/gün m²), G Toprak ısı akımı yoğunluğu (MJ/gün m²) (Değeri günlük hesaplamalar için 0 (sıfır) alınır, bu çalışmada 0 alınmıştır), e_s Günlük ortalama sıcaklıkta doymuş buhar basıncı (kPa) (yerden z kadar yükseklikte ölçülen değer), e_a Havanın ortalama gerçek buhar basıncı (kPa) (yerden z kadar yükseklikte ölçülen değer) (Bu çalışmada ölçüm yapılarak bulunmuştur), ρ_a Havanın yoğunluğu (kg/m³) (1,293~1,204), C_p Sabit basınçtaki nemli havanın özgül ısısı (1,01*10⁻³ MJ/kg °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)

r_a (Atmosfer sınır tabakası içine su buharı yayılmasına karşı hava dinamiği direnci) (s/m) değeri (3.2) denklemi ile hesaplanmaktadır:

$$r_a = \frac{\ln(\frac{z_m - d}{z_{om}}) \ln(\frac{z_h - d}{z_{oh}})}{k^2 u_z} \quad (3.2)$$

Burada;

z_m Rüzgâr ölçüm yüksekliği (m), z_h 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 yaklaşık bir değer kabul edilebilir. Buna göre;

$$d = \frac{2}{3} h \quad (3.3)$$

$$z_{om} = 0,123h \quad (3.4)$$

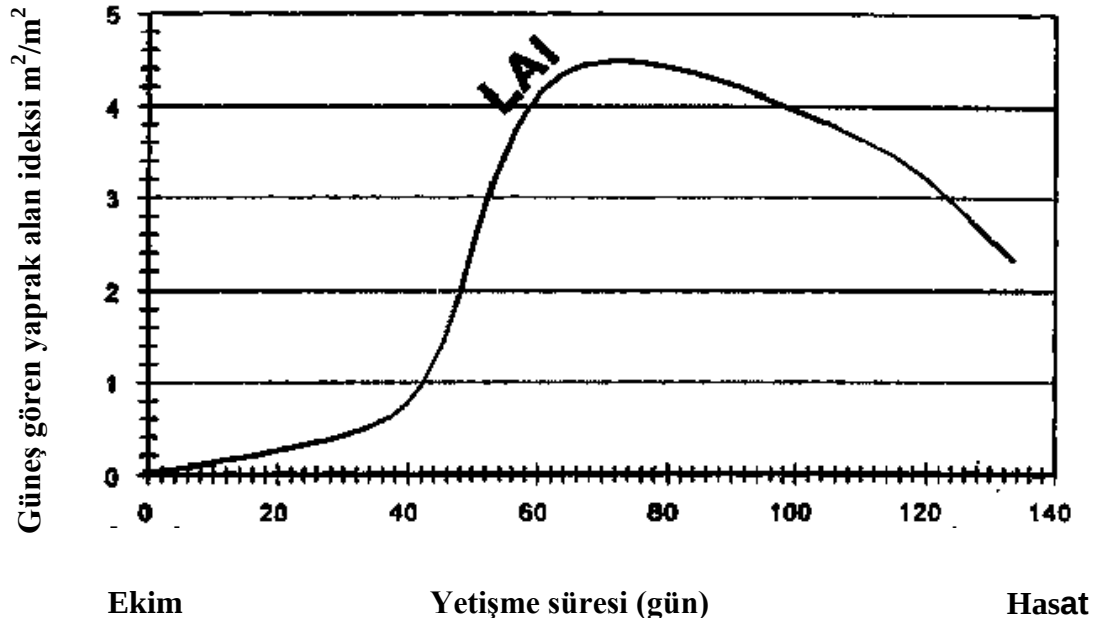
$$z_{oh} = 0,1z_{om} \quad (3.5)$$

olarak hesaplanabilirler.

r_s (su buhar transferine karşı yüzey direnci) (s/m) (3.6) denklemi ile hesaplanmaktadır

$$r_s = \frac{r_l}{LAI_{active}} \quad (3.6)$$

r_l = Aydınlık ortamda stomatal direnç (s/m), LAI_{active} Güneş gören yaprak alan indeksi (Yetiştirme süresine bağlıdır şekil 3.7), r_l ve LAI_{active} mevcut bitki örtüsü yüksekliğine (h) bağlı olarak yaklaşık bir değer kabul edilebilir. Buna göre;



Şekil 3.7 LAI –Güneş gören yaprak alanı indeksi değerinin değişimi[30]

(3.1) denkleminde (Ana denklemde) bulunan psikrometrik sabit (3.7) denklemi ile hesaplanmaktadır.

$$\gamma = \frac{C_p \cdot P}{\varepsilon \cdot \lambda} \quad (3.7)$$

Burada; C_p Sabit basınçta özgül ısı $1.013 \cdot 10^{-3} \text{ (MJ kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1})$, P Atmosfer Basıncı (kPa), ε Su buharı kuru hava molekül ağırlıkları oranı (0.622), λ Buharlaşma ısısı $2.45 \text{ (MJ kg}^{-1})$ olmaktadır. P Atmosfer basıncı (kPa) (3.8) denklemi ile hesaplanmaktadır;

$$P = 101,3 \cdot \left(\frac{293 - 0,0065 \cdot z}{293} \right)^{5,26} \quad (3.8)$$

Burada; z Deniz seviyesine göre yükseklik (m) olmaktadır.

Ana denklemde bulunan (Δ) doymuş buhar basıncı sıcaklık eğrisinin eğimi aşağıdaki denklem (denklem 3.9) ile hesaplanmaktadır;

$$\Delta = \frac{4098 \cdot \left[0,610 \cdot \exp \left(\frac{17,27 \cdot T}{T + 237,3} \right) \right]}{(T + 237,3)^2} \quad (3.9)$$

Burada; T Ortalama hava sıcaklığı ($^\circ\text{C}$) değeridir. Ortalama hava sıcaklık değerleri olarak Beyşehir Meteoroloji İstasyonu verileri kullanılmıştır.

Ana denklemde bulunan (e_s) günlük ortalama sıcaklıkta doymuş buhar basıncı (3.10) denklemi kullanılarak hesaplanmaktadır;

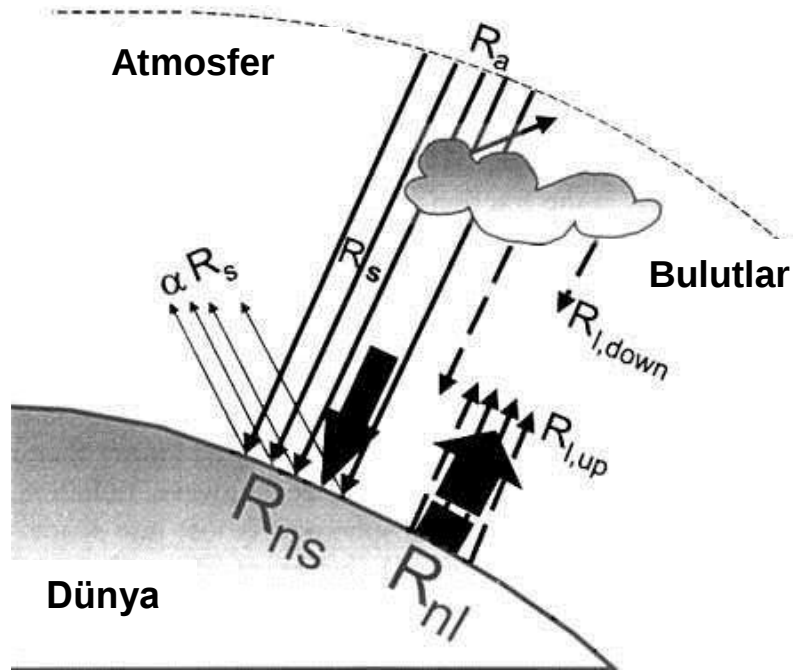
$$e_s = \frac{e^0(T_{\max}) + e^0(T_{\min})}{2} \quad (3.10)$$

Burada; $T_{\max}$ günlük maksimum hava sıcaklığı ($^\circ\text{C}$), $T_{\min}$ günlük minimum hava sıcaklığı ($^\circ\text{C}$), ortalama sıcaklıkta e^0 doymuş buhar basıncı değeridir. Maksimum, minimum ve ortalama hava sıcaklığı değerleri olarak Beyşehir Meteoroloji İstasyonu verileri kullanılmıştır.

e^0 (kPa) aşağıdaki denklem ile hesaplanmaktadır;

$$e_s = \frac{e^0(T_{\max}) + e^0(T_{\min})}{2} \quad (3.11)$$

Buharlaşma miktarına etki eden önemli faktörlerden biri de güneş ile yeryüzüne ulaşan güneş radyasyonudur. Penmann-Monteith modelinde, buharlaşma hesabına etki eden yer yüzeyine gelen, yansıyan ve net radyasyon Şekilde şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.8 Radyasyonun yeryüzeyindeki dağılımı[30]

Güneş ışınlarının dünyaya ulaşması ile atmosfer dışında oluşan radyasyon (R_a) şiddeti yerel olarak farklılık göstermektedir. Bunun nedeni güneş ışınları doğrultusu ile atmosfer yüzeyi arasındaki açının yeryüzündeki konuma göre değişmesinden kaynaklanmaktadır. Atmosfere nüfuz eden radyasyonun bir kısmı bulut, toz ve atmosferde bulunan gazlar tarafından emilir, dağılır ya da yansır. Atmosfere nüfuz eden radyasyonun bir kısmı (R_s) yeryüzeyine ulaşmaktadır. Yeryüzüne ulaşan radyasyonun ise bir kısmı yansırken (R_{ns}), bir kısmı ise yeryüzü tarafından ısı enerjisi olarak absorbe edilmektedir (R_{nl}). Buharlaşma miktarına direkt olarak etki eden net radyasyon yeryüzüne ulaşan ve yansıyan radyasyon farkı ile hesaplanmaktadır. (Denklem 3.12)

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (3.12)$$

Burada; R_n Net Radyasyon (MJ/gün m^2), R_{ns} Net güneş radyasyonu, R_{nl} Net uzundalga radyasyonudur.

$$R_{ns} = (1 - \alpha) \cdot R_s \quad (3.13)$$

α Albedo Sabiti (Çimenli alanlar için 0,20–0,25 aralığında alınabilir.)

R_s Atmosfer Dışındaki Güneş Radyasyonu ($\text{MJ m}^{-2} \text{gün}^{-1}$) aşağıdaki denklem ile hesaplanmaktadır;

$$R_s = (a_s - b_s \frac{n}{N}) \cdot R_a \quad (3.14)$$

Burada, a_s Geri dönüş sabiti ($\sim 0,25$ alınabilir), b_s Yüzeğe ulaşan radyasyon oranının sabiti ($\sim 0,50$ alınabilir), n Günlük güneşlenme süresi (saat) (Yerinde ölçülerek bulunur), N Günlük maksimum güneşlenme süresi (saat)

R_a Atmosfer dışındaki radyasyon ($\text{MJ m}^{-2} \text{gün}^{-1}$) aşağıdaki denklem ile hesaplanmaktadır;

$$R_a = \frac{24 \cdot 60}{\pi} \cdot G_{sc} \cdot d_r (w_s \cdot \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \sin w_s) \quad (3.15)$$

Burada, G_{sc} Güneşlenme sabiti ($\text{MJ m}^{-2} \text{min}^{-1}$) ($\sim 0,0820$ alınabilir), d_r = Güneş-Dünya arasındaki uzaklığa bağlı denklem, w_s Gündoğumu saatine bağlı açı değeri (rad), δ Solar kırılma (rad), φ Enlem (rad) olmaktadır.

$$d_r = 1 + 0,033 \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{365} \cdot J\right) \quad (3.16)$$

J Günün yıl içerisindeki sıra sayısıdır. Diğer terimler aşağıdaki denklemler ile hesaplanmaktadır.

$$w_s = \arccos[-\tan(\varphi) \cdot \tan(\delta)] \quad (3.17)$$

$$\varphi = \frac{\pi}{180} \cdot (\text{derece}) \quad (3.18)$$

$$\delta = 0,409 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{365} J - 1,39\right) \quad (3.19)$$

Net radyasyon değerinin hesaplandığı (3.12) denkleminde bulunan R_{nl} ise aşağıdaki denklem ile hesaplanmaktadır;

$$R_{nl} = \sigma \left[\frac{T_{\max,k}^4 + T_{\min,k}^4}{2} \right] \cdot (0,34 - 0,14\sqrt{e_a}) \cdot (1,35 \cdot \frac{R_s}{R_{so}} - 0,35) \quad (3.20)$$

Burada; σ Stefan-Boltzman Sabiti ($4,903 \cdot 10^{-9} \text{ MJ k}^{-4} \text{ m}^2 \text{ gün}^{-1}$), $T_{\max,k}$ Günlük maksimum sıcaklık ($K = ^\circ\text{C} + 273.16$), $T_{\min,k}$ Günlük minimum sıcaklık ($K = ^\circ\text{C} + 273.16$), e_a Havanın ortalama gerçek buhar basıncı (kPa), R_s Güneş Radyasyonu ($\text{MJ m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$),

R_{so} Açık havada güneş radyasyonu ($\text{MJ m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$) aşağıdaki denklem ile hesaplanmaktadır;

$$R_{so} (0,75 + 2 \cdot 10^{-5} \cdot z) \cdot R_a \quad (3.21)$$

Burada R_a Atmosfer dışındaki radyasyon ($\text{MJ m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$), z Deniz seviyesinden yükseklik (m) olmaktadır.

Penman Denklemleri

Karasal ortam ve su yüzeyinde meydana gelen buharlaşmanın hesaplanabileceği birçok Penman-Monteith denklemi varyasyonu bulunmaktadır. Penman denklemi 1948 yılında Penman tarafından önerilen ve kabul edilebilir sonuçları olan ve yaygın olarak kullanılan bir formüldür. Penman modelinde buharlaşma miktarı hava şartlarına bağlı olarak hesaplanmaktadır. Bitki örtüsünün varlığı bu modelde dikkate alınmamaktadır. Bu nedenle göl yüzeyinde meydana gelen buharlaşma miktarının hesabında bu model kullanılmıştır. Göl yüzeyinde meydana gelen buharlaşma hesabında kullanılan Penman Modeline ait genel denklem aşağıdaki gibidir[31].

$$E = \left[\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \right] \cdot R_n + \left[\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \right] \cdot f(u) \cdot (e_s - e_a) \quad (3.22)$$

Burada; E Buharlaşma (mm/gün), Δ Doymuş buhar basıncı sıcaklık eğrisinin eğimi ($\text{kPa}/^\circ\text{C}$), γ Psikrometrik sabit ($\text{kPa}/^\circ\text{C}$), R_n Net radyasyon (cal/gün cm^2), $f(u)$ Rüzgâr hızına bağlı fonksiyon değeri, e_s Günlük ortalama sıcaklıkta doymuş buhar basıncı (kPa) (yerden z kadar yükseklikte ölçülen değer), e_a Havanın ortalama gerçek buhar basıncı (kPa) (yerden z kadar yükseklikte ölçülen değer) olmaktadır.

Penman ana denkleminde (denklem 3.22) bulunan bazı terimler Penman-Monteith denkleminin farklı formulleri ile hesaplanmaktadır. Bu terimlerden Δ doymuş buhar basıncı sıcaklık eğrisinin eğimi değeri aşağıdaki denklem ile verilmiştir.

$$\Delta = \frac{4090 * e_s}{(237,3 + T_a)^2} \quad (3.23)$$

Burada; e_s Günlük ortalama sıcaklıkta doymuş buhar basıncı (kPa) (yerden z kadar yükseklikte ölçülen değer), T_a Ortalama hava sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)

γ Psikrometrik sabit ($\text{kPa}/^{\circ}\text{C}$) aşağıdaki denklem ile hesaplanmaktadır.

$$\gamma = \frac{0,0016286 * P}{\lambda} \quad (3.24)$$

Burada; P Atmosfer Basıncı (kPa), λ Buharlaştırma ısıdır. (cal/kg) Buharlaştırma ısısı aşağıdaki denklem ile hesaplanmaktadır.

$$\lambda = 2,5 - 0,002361 * T_w \quad (3.25)$$

Burada T_w Su sıcaklığıdır. ($^{\circ}\text{C}$)

Beyşehir Gölü ortalama su sıcaklığı ilkbahar aylarında $12,4^{\circ}\text{C}$, yaz aylarında $21,9^{\circ}\text{C}$, sonbahar aylarında $11,3^{\circ}\text{C}$, kış aylarında 4°C olmaktadır [32].

Penman denkleminde net radyasyon değeri R_n Penman-Monteith denkleminin farklı olarak aşağıdaki denklem ile hesaplanmaktadır.

$$R_n = R_c(1 - \alpha) - R_B \quad (3.26)$$

Burada, R_c Yeryüzüne ulaşan radyasyon (cal/cm^2), α Albedo Sabiti (su yüzeyi için 0,08), R_B Yansıyan radyasyondur. (cal/cm^2)

$$R_c = R_A [0,20 + 0,48 * (n/D)] \quad (3.27)$$

Burada; n/D = Güneşlenme süresi oranı ve R_A Angot güneş radyasyonu değeridir (cal/cm^2). R_A aşağıdaki denklem ile hesaplanmaktadır.

$$R_A = 7,76 * \frac{D * \sin \phi * \sin \delta + 2 * \cos \phi * \cos \delta * \sin(D/2)}{[1 - 0,01673 * \cos(0,017214 * (J - 1))]^2} \quad (3.28)$$

Burada; J Günün yıl içerisindeki sıra sırası, δ Solar kırılma (rad), ϕ Enlem (rad) değerleridir. Solar kırılma ve enlem değerleri Penman-Monteith denkleminde olduğu gibi aşağıdaki eşitlikler ile hesaplanmaktadır.

$$\phi = \frac{\pi}{180} * (\text{derece}) \quad (3.29)$$

$$\frac{D}{2} = \arccos \left\{ -1 * \left[\frac{(0,0148 + \sin \phi * \sin \delta)}{(\cos \phi * \cos \delta)} \right] \right\} \quad (3.30)$$

Net radyasyon denkleminde bulunan R_B yansıyan radyasyon değeri aşağıdaki denklem ile hesaplanmaktadır.

$$R_B = (0,2 + \frac{0,8n}{D}) * (0,47 - 0,077\sqrt{e_a}) * \sigma * T_a^4 \quad (3.31)$$

Burada; σ Lummer Sabiti olup değeri $117,4 * 10^{-9}$ cal/cm²*gün olmaktadır.

Buharlaşma hesapları sonunda ulaşılan sonuçlar

Optimizasyon modelinin oluşturulması kapsamında yapılan çalışmada Penman-Monteith ve penman denklem takımları excel ortamına aktarılarak buharlaşma değerlerinin hesaplanabildiği bir çalışma sayfası oluşturulmuş 1999-2009 yılları aralığında Beyşehir Meteoroloji istasyonunda ölçülen tava buharlaşma değerleri ile FAO-Penmann-Monteith denklemini kullanarak hesaplanan aylık buharlaşma değerlerinin karşılaştırılması yapılmıştır.(izelge 3.2)

Devlet meteoroloji müdürlüğü tarafından yapılan tava buharlaşma ölçümleri nisan ayından ekim ayna kadar yapılmaktadır. FAO yöntemi ile hesaplanan buharlaşma o günkü mevcut enerji miktarı ile hesaplanarak bulunduğundan potansiyel evapotranspirasyonu vermektedir. Tava buharlaşma değerleri belli bir katsayı ile çarpılarak (azaltılarak) potansiyel buharlaşma değerine çevrilmektedir. Bu katsayı genelde 0.7 alınmaktadır. Penman-Monteith ve penman denklem takımları ile yapılan buharlaşma hesaplamaları amaçlarından biri tava katsayısına daha geçerli bir değer bulmaktır. Aslında bu katsayı zamana göre değişen bir katsayıdır. Bu amaçla aylık olarak hesaplanan FAO buharlaşması ile Tava buharlaşması oranlanarak bulunan katsayıların aylık ortalamaları alınarak aylık tava buharlaşma katsayıları bulunmuştur. Bu katsayılar Nisan'da 0.76, Mayıs'ta 0.75, Haziran'da 0.6, Temmuz'da 0.52, Ağustos'ta 0.48, Eylül ve Ekim'de 0.52 olarak hesaplanmıştır. Buna göre 10 yıllık süreç

göz önüne alındığında Beyşehir Meteoroloji İstasyonu buharlaşma tavaşı değerleri en fazla Penman modeli sonuçlarına yakınlık göstermiştir.

Çizelge 3.2 Penmann-Monteith ve DMİ tava buharlaşma değ. karşılaştırılması [29]

FAO-PENMANN-MONTEITH DENKLEMİ KULLANILARAK HESAPLANAN AYLIK BUHARLAŞMA DEĞERLERİ			DMİ BUHARLAŞMA VERİLERİ	FAO/DMİ				
YIL	AY	AYLIK TOPLAM BUHARLAŞMA MİKTARI mm	AYLIK TOPLAM BUHARLAŞMA MİKTARI mm					
1999	9	90.90	122.4	0.74	2004	1	15.04	
	10	56.20	84.8	0.66		2	23.37	
	11	24.35				3	50.72	
	12	14.27				4	77.11	86.4 0.89
2000	1	14.70				5	107.09	124.7 0.86
	2	26.85				6	124.16	169.6 0.73
	3	55.65				7	130.98	224.8 0.58
	4	89.97	118.6	0.76		8	116.52	219 0.53
	5	125.02	103	1.21		9	81.45	167.2 0.49
	6	133.29	164.2	0.81		10	51.32	96.4 0.53
	7	150.43	216.6	0.69		11	22.38	
	8	126.00	187.9	0.67		12	12.34	
	9	86.81	136.4	0.64	2005	1	15.73	
	10	49.99	66.5	0.75		2	24.36	
	11	23.91				3	49.63	
	12	13.47				4	77.21	99.8 0.77
2001	1	17.88				5	109.63	159.8 0.69
	2	27.46				6	123.08	202.2 0.61
	3	61.44				7	118.35	236.7 0.50
	4	85.54	97	0.88		8	111.78	294.7 0.38
	5	111.01	111.2	1.00		9	78.17	164.1 0.48
	6	131.87	216.9	0.61		10	43.36	62.6 0.69
	7	143.53	258.1	0.56	2006	11	19.37	
	8	126.39	231.3	0.55		12	11.94	
	9	86.13	168.7	0.51		1	12.81	
	10	48.51	109.7	0.44		2	21.94	
	11	21.82				3	49.17	
	12	12.66				4	72.72	86.8 0.84
2002	1	14.55				5	103.14	175.3 0.59
	2	27.42				6	114.80	249.3 0.46
	3	53.61				7	121.05	279.4 0.43
	4	81.64	79.3	1.03		8	116.49	318.6 0.37
	5	112.03	168.2	0.67		9	78.10	176.5 0.44
	6	126.34	195	0.65		10	48.72	82.5 0.59
	7	134.29	246.2	0.55	2007	11	21.41	
	8	115.96	226.6	0.51		12	10.85	
	9	81.99	122.5	0.67		1	12.96	
	10	49.11	96.8	0.51		2	22.82	
	11	23.35				3	47.45	
	12	10.83				4	70.80	
2003	1	17.33				5	108.57	220.1 0.49
	2	21.94				6	115.62	257.1 0.45
	3	44.05				7	128.98	337.2 0.38
	4	73.86	76.8	0.96		8	112.25	306.5 0.37
	5	115.49	149.7	0.77		9	76.88	214 0.36
	6	123.90	152.8	0.81		10	45.76	162.6 0.28
	7	132.59	223.9	0.59	2008	11	22.33	
	8	118.24	192.4	0.61		12	12.59	
	9	81.34	106.6	0.76		1	11.97	
	10	49.94	84.9	0.59		2	19.10	
	11	23.49				3	51.38	
	12	13.03				4	74.41	203.4 0.37
2004	1	17.33				5	98.65	181.7 0.54
	2	21.94				6	116.86	269.8 0.43
	3	44.05				7	124.73	302.8 0.41
	4	73.86	76.8	0.96		8	118.34	307.9 0.38
	5	115.49	149.7	0.77		9	81.88	190.5 0.43
	6	123.90	152.8	0.81		10	49.90	78.6 0.63
	7	132.59	223.9	0.59	2009	11	23.88	52.4 0.46
	8	118.24	192.4	0.61		12	11.63	
	9	81.34	106.6	0.76		1	14.20	
	10	49.94	84.9	0.59		2	23.29	
	11	23.49				3	44.17	
	12	13.03				4	75.26	118.8 0.63
2005	1	17.33				5	98.79	141 0.70
	2	21.94				6	116.69	229.7 0.51
	3	44.05				7	123.58	243.4 0.51
	4	73.86	76.8	0.96		8	108.01	238.1 0.45
	5	115.49	149.7	0.77		9	74.63	139.9 0.53
	6	123.90	152.8	0.81		10	46.58	109.3 0.43
	7	132.59	223.9	0.59		11	21.60	43.6 0.50
	8	118.24	192.4	0.61		12	12.56	
	9	81.34	106.6	0.76				
	10	49.94	84.9	0.59				
	11	23.49						
	12	13.03						

3.3.3 Bitki Su İhtiyacının Belirlenmesi bsi(A,Y)

Blaney-Criddle Denklemi

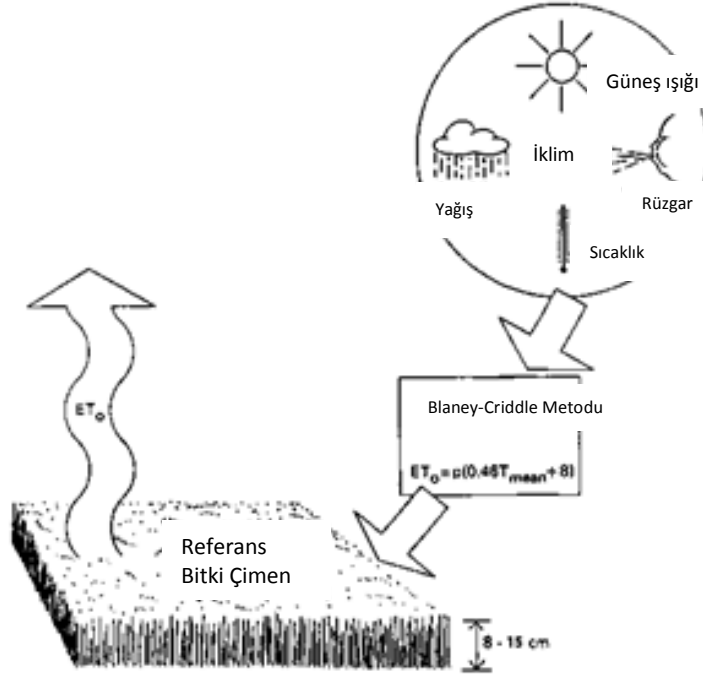
Bu çalışma ile hazırlanmış olan modeleetki eden bitki su ihtiyacı değerleri Blaney-Criddle denklemi kullanılarak hesaplanmıştır. Blaney-Criddle denklemi tava buharlaşması ile ölçüm yapılmayan alanlarda, teorik olarak buharlaşma miktarını ve bu buharlaşma miktarı ile bitki su ihtiyacı hesabı için kullanılan bir denklemdir. Bitki su ihtiyacı hesabı genel olarak iki adımda yapılmaktadır. Öncelikle buharlaşma değerleri hesaplanmakta daha sonra bu değerler bitki faktörü değeri ile çarpılarak bitki su ihtiyaçları hesaplanmaktadır.(Şekil 3.9) Blaney-Criddle denklemi ile elde edilen buharlaşma değerleri tek başına sadece ilgili alan için genel bir fikir verme açısından değerlendirilebilmektedir.[33]

Blaney-Criddle potansiyel buharlaşma hesabı için kullanılan genel denklem aşağıdaki gibidir;

$$ET_0 = p.(0,46.T_{ort} + 8) \quad (3.32)$$

$$T_{ort} = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \quad (3.33)$$

Burada; Burada ET_0 = Günlük potansiyel buharlaşma (mm/gün), p Gündüz saatlerinin gün içerisindeki oranı (Şekil 3.10'daki tablodan alınmaktadır), T_{ort} = ortalama sıcaklık (C), T_{max} , T_{min} maksimum ve minimum sıcaklıklar (C)



Şekil 3.9 Blaney-Criddle denklem takımına etki eden değişkenler [30]

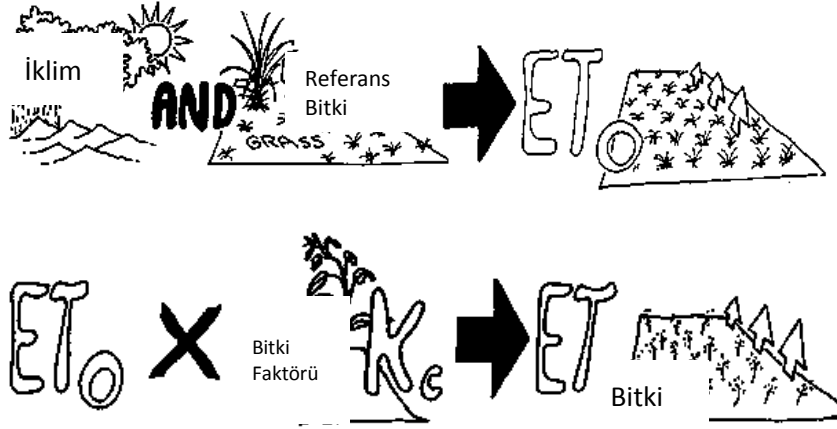
Enlem	Kuzey	Oc.	Şub.	Mart	Nis.	May.	Haz.	Tem.	Ağu.	Ey.	Ek.	Kas.	Ar.
	Güney	Tem.	Ağu.	Ey.	Ek.	Kas.	Ar.	Oc.	Şub.	Mart	Nis.	May.	Haz.
60°		.15	.20	.26	.32	.38	.41	.40	.34	.28	.22	.17	.13
55		.17	.21	.26	.32	.36	.39	.38	.33	.28	.23	.18	.16
50		.19	.23	.27	.31	.34	.36	.35	.32	.28	.24	.20	.18
45		.20	.23	.27	.30	.34	.35	.34	.32	.28	.24	.21	.20
40		.22	.24	.27	.30	.32	.34	.33	.31	.28	.25	.22	.21
35		.23	.25	.27	.29	.31	.32	.32	.30	.28	.25	.23	.22
30		.24	.25	.27	.29	.31	.32	.31	.30	.28	.26	.24	.23
25		.24	.26	.27	.29	.30	.31	.31	.29	.28	.26	.25	.24

Şekil 3.10 Enlemlere göre p değerlerinin değişimi

Buharlaştırma değerleri belirlendikten sonra bitki su ihtiyacı (şekil 3.11) 'de temsil edildiği gibi aşağıdaki denklem ile hesaplanmaktadır.

$$ET_{bitki} = ET_0 * k_c \quad (3.34)$$

burada, ET_{bitki} =bitki su ihtiyacı (mm/gün), ET_0 =potansiyel buharlaştırma miktarı (mm/gün) ve k_c =bitki faktörüdür.



Şekil 3.11 Blaney-Criddle denklemi ile bitki su ihtiyacı hesapları.[30]

Bitki faktörü k_c bitki türüne, bitki yetiştirme süresine ve hava durumuna bağlı olarak değişmektedir. k_c değerleri literatürde mevcut tablolardan her bitki için yetiştirme periyoduna bağlı olarak tespit edilir. k_c değeri her ay için bitkinin yetiştirme dönemine bağlı olarak farklı hesaplanmaktadır.

$$k_c = \left(\frac{\text{Dönem Gün Sayısı}}{\text{Ayın gün sayısı}} \right) * \text{Döneme ait } k_c \text{ katsayısı} \quad (3.35)$$

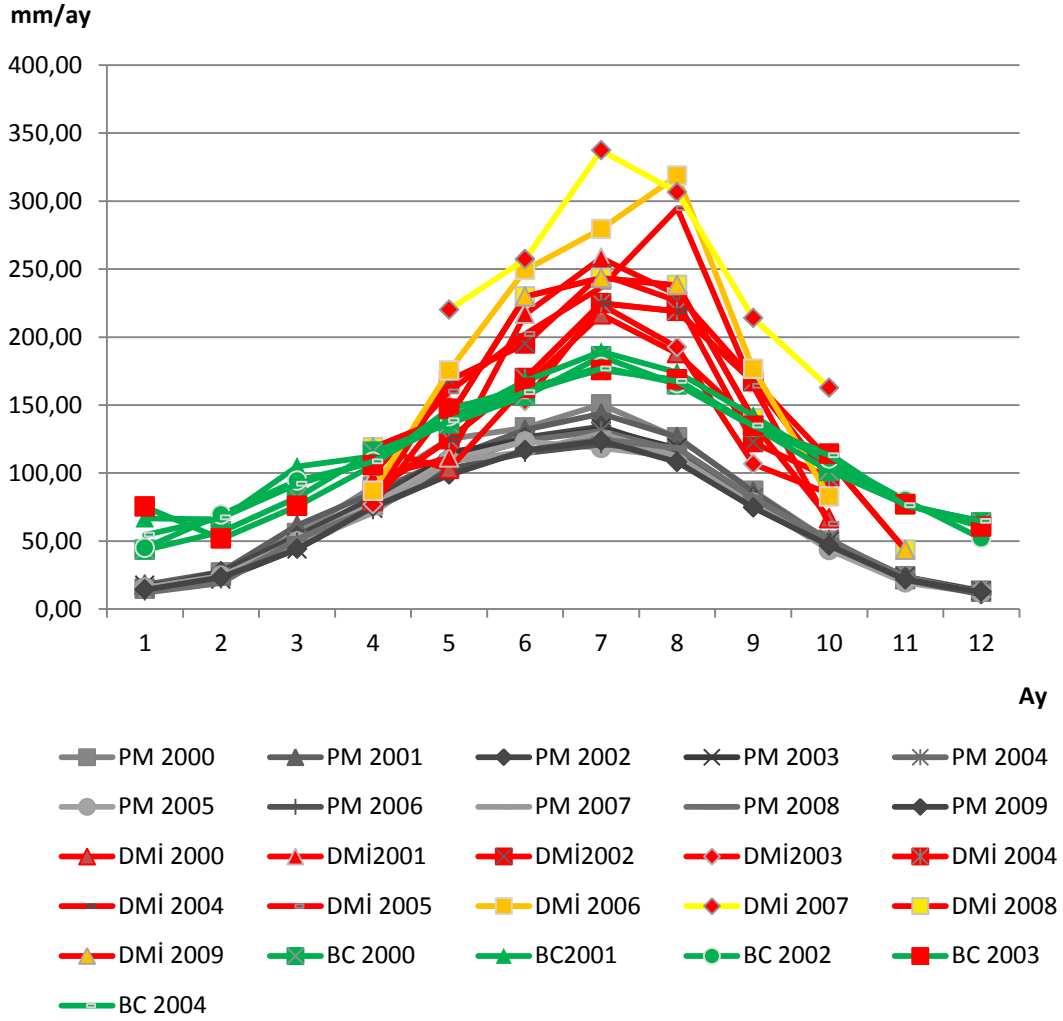
Bitki su ihtiyacı hesapları sonunda ulaşılan sonuçlar;

Beyşehir Gölü çevresinde yetişen temel bitki olan şeker pancarı için Blaney Criddle yöntemi ve Penman-Monteith yöntemi kullanılarak elde edilen günlük buharlaşma değerleri ile hesaplanan bitki su ihtiyaçlarının yıllara göre dağılımı şekil 3.12’de verilmiştir.

Blaney-Criddle bitki su ihtiyacı denklemi kullanılırken, ET_0 (Buharlaşma miktarı) yerine öncelikle Penman-Monteith modeli ile elde edilen buharlaşma değerleri konulmuş, daha sonra Blaney-Criddle’nin önermiş olduğu denklem ile elde edilen buharlaşma değerleri kullanılarak, bitki su ihtiyaçları hesaplanmıştır. Blaney-Criddle modelinde buharlaşma değerleri hesabı için önerilen denklem hava sıcaklığının ve güneşlenme süresinin fonksiyonu olup, genel bir fikir vermesi açısından değerlendirilmektedir (Brouwer ve Heibloem, 1986). Penman-Monteith Modelinde ise buharlaşma miktarına sıcaklığın yanı sıra; rüzgâr hızı, basınç değerleri, bitki örtüsü seviyesi, dünya yüzeyine ulaşan ve yansıyan radyasyon değerleri gibi değişkenler de

etki etmektedir (Şekil 3.6). Bu nedenle buharlaşma miktarı hesaplarında bu iki model sonuçları arasında önemli oranda farklılıklar oluşmaktadır. Blaney-Criddle modeli ile şekerpancarı bitkisi su ihtiyaçları hesabında kullanılan buharlaşma değerleri 1999–2009 yılları arasındaki 10 yıllık zaman zarfında ortalama aylık 111,74 mm olur iken Penman-Monteith yönteminde bu değer aylık ortalama 66,84 mm/yıl olmaktadır. Beyşehir Meteoroloji İstasyonu verilerine göre ise 10 yıllık ortalama aylık buharlaşma değeri 171,78 mm olmaktadır.

2000–2009 yılları arasında Penman-Monteith modeli buharlaşma değerleri kullanılarak şekerpancarı bitkisinin su ihtiyacı yıllık 523 mm ile 613 mm arasında hesaplanırken, Blaney Criddle yöntemine göre bu ihtiyaç yıllık 900 mm ila 902 mm arasında değişmektedir.(Çizelge 3.3)



Şekil 3.12 2000 – 2009 Yılları arası Penman-Monteith, Blaney Criddle ve buharlaşma tavaşı buharlaşma değerlerinin aylık dağılımı

Çizelge 3.3 2000 – 2009 Yılları arası şekerpancarı bitkisi su ihtiyacı yükseklikleri

YIL	TOPLAM SU İHTİYACI Penman Monteith mm/yıl	TOPLAM SU İHTİYACI Blaney-Criddle mm/yıl
2000	613,76	902,77
2001	596,28	938,75
2002	568,36	909,90
2003	568,08	915,42
2004	562,06	906,47
2005	532,90	898,25
2006	536,15	909,66
2007	538,46	922,94
2008	548,15	924,56
2009	523,08	900,88

Buharlaşma değerlerinde olduğu gibi bitki su ihtiyaı hesaplamaları sonunda elde edilen değerler “table” komutu kullanılarak GAMS ortamına aktarılmıştır.

```
*Bitki Su ihtiyaçları Blaney_Criddle denklemleri kullanılarak hesaplanmıştır.
*Referans olarak şekerpanarı bitkisi esas alınmıştır.
table bsi(A,Y) Bitki su ihtiyaı (mm)
```

	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	17.78	17.30	18.47	18.38	21.41
5	56.47	59.33	53.84	54.05	60.74
6	82.42	83.18	84.20	83.73	94.89
7	105.52	112.52	108.83	107.72	125.31
8	121.63	117.31	123.68	112.71	131.82
9	89.82	88.42	94.16	85.83	9
10	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0

```
;
```

şekil 3.13 Bitki su ihtiyaçlarının GAMS programarayüzüne girilmesi

3.3.4 Kullanım Suyu İhtiyaının Belirlenmesi ks (A,Y)

Beyşehir Gölü’nden su kullanan yerleşim yerlerinin geçmiş yıllara ait nüfus sayımları Türkiye İstatistik Kurumu’ndan elde edilmiştir (Çizelge 3.4). 2007 yılına kadar yapılan nüfus sayımlarında özellikle kasaba ve köy nüfuslarında iller bankasından daha çok pay almak amacıyla abartmalar olduğu, 2007 yılında yapılan adrese dayalı nüfus sayımında ortaya çıkmıştır. Bu nedenle 2007 den sonra her yıl yapılan ve TC kimlik numaraları ile de denetlenen nüfus artışlarının daha gerçekçi olduğu varsayılarak İller Bankası metodu ile nüfus tahminleri 2007 den sonraki nüfus artışları temel alınarak yapılmıştır. Beyşehir Gölü’nden su alan en büyük sanayi tesisi olarak BEYTEKS tekstil fabrikasının su ihtiyaı da günlük üretimine göre tahmin edilmiştir.

İller Bankası yöntemine göre nüfus tahmini ve su ihtiyaı belirleme hesapları Çizelge 3.5’de verilmiştir. Buna göre Beyşehir Gölü’nden 2010 yılında su ihtiyaı karşılanan nüfus 42.209 iken 2040 yılında bu nüfus 58.566 kişi olarak tahmin edilmektedir. Bu nüfusun, endüstriyel kullanım, büyükbaş ve küçük baş hayvan suyu ihtiyaı dahil toplam su ihtiyaı 238.17 lt/sn (20578 m³/gün) olarak tahmin edilmiştir. Gölde çekilen sulama suyu ihtiyaı yanında içme suyu ihtiyaı ihmal edilebilecek kadar küçükür.

Çizelge 3.4 Beyşehir gölün den su ihtiyacını karşılayan yerleşim merkezlerinin nüfus Sayımları [27]

BEYŞEHİR GÖLÜNDEN SU İHTİYACINI KARŞILAYAN İLÇE, KASABA VE KÖY NÜFUSLARI											
Ilce-Kasaba-Koy	1965	1970	1975	1980	1985	1990	2000	2007	2008	2009	2010
Beysehir_Merkez	7456	8980	15060	15845	19143	30412	41312	32799	31598	32525	33895
Akburun	544	648	629	645	635	634	605	598	592	536	522
Karadiken	564	474	482	513	489	403	377	298	303	302	311
Gölkası	398	430	388	431	344	335	422	366	363	374	362
Kusluca	237	233	227	206	184	175	200	188	207	175	188
Ciftlik_koy	165	119	107	179	180	223	192	212	217	224	219
Budak	650	646	681	730	753	698	1400	574	548	494	469
Tolca	813	663	617	558	651	606	865	529	513	495	469
Golyaka	1270	1278	1371	1345	1182	2154	2690	861	769	730	681
Kurucuova	2181	2709	2458	2491	2627	3189	4238	1455	1321	1118	1099
Yesildag	3574	3559	4029	3422	3163	3055	3831	1948	2095	1929	1968
Gedikli	587	709	737	800	750	715	725	641	623	600	626
Karayaka	434	442	442	591	526	555	536	421	404	399	388
Celtek	423	442	463	475	469	471	377	367	337	338	350
Golkonak	454	532	492	530	481	409	406	360	358	356	363
Sarkaya	200	205	251	288	286	322	309	315	302	295	299
Toplam	19950	22069	28434	29049	31863	44356	58485	41932	40550	40890	42209

Çizelge 3.5 2040 yılındaki nüfus tahmini ve kullanma suyu ihtiyacı hesabı [27]

1965 Nüfusuna Göre 2000 Yılına Kadar Nüfus Artış Katsayıları									
İlçe-Kasaba-Köy	1975	1980	1985	1990	1995	2000	Çmak s	Çseçilen	
Beyşehir_Merkez	3.79	7.28	5.15	4.83	5.78	5.01	7.28	3.00	
Akburun	3.56	1.46	1.14	0.78	0.61	0.30	3.56	3.00	
Karadiken	-3.42	-1.56	-0.63	-0.71	-1.34	-1.14	-0.63	1.00	
Gölkaşı	1.56	-0.25	0.53	-0.73	-0.69	0.17	1.56	1.56	
Kuşluca	-0.34	-0.43	-0.93	-1.26	-1.21	-0.48	-0.34	1.00	
Çiftlik Köy	-6.33	-4.24	0.54	0.44	1.21	0.43	1.21	1.21	
Budak	-0.12	0.47	0.78	0.74	0.29	2.22	2.22	2.22	
Tolca	-4.00	-2.72	-2.48	-1.10	-1.17	0.18	0.18	1.00	
Gölyaka	0.13	0.77	0.38	-0.36	2.14	2.17	2.17	2.17	
Kurucuova	4.43	1.20	0.89	0.93	1.53	1.92	4.43	3.00	
Yeşildağ	-0.08	1.21	-0.29	-0.61	-0.63	0.20	0.20	1.00	
Gedikli	3.85	2.30	2.09	1.23	0.79	0.61	3.85	3.00	
Karayaka	0.37	0.18	2.08	0.97	0.99	0.60	2.08	2.08	
Çeltek	0.88	0.91	0.78	0.52	0.43	-0.33	0.91	1.00	
Gölkonak	3.22	0.81	1.04	0.29	-0.42	-0.32	3.22	3.00	
Sarıkaya	0.50	2.30	2.46	1.80	1.92	1.25	2.46	2.46	
2007 Adrese Dayalı Nüfus Sayımına Göre 2008-2010 Yılları Arası Nüfus Artış Katsayıları									
İlçe-Kasaba-Köy	2008	2009	2010	Çmaks	Çseçilen				
Beyşehir_Merkez	-3.66	-0.42	1.10	1.10	1.10				
Akburun	-1.00	-5.33	-4.43	-4.43	1				
Karadiken	1.68	0.67	1.43	1.43	1.43				
Gölkaşı	-0.82	1.09	-0.37	1.09	1.09				
Kuşluca	10.11	-3.52	0.00	0.00	1				
Çiftlik Köy	2.36	2.79	1.09	2.79	2.79				
Budak	-4.53	-7.23	-6.51	-6.51	1				
Tolca	-3.02	-3.27	-3.93	-3.27	1				
Gölyaka	-10.69	-7.92	-7.52	-7.52	1				
Kurucuova	-9.21	-12.34	-8.93	-8.93	1				
Yeşildağ	7.55	-0.49	0.34	0.34	1				
Gedikli	-2.81	-3.25	-0.79	-0.79	1				
Karayaka	-4.04	-2.65	-2.68	-2.65	1				
Çeltek	-8.17	-4.03	-1.57	-1.57	1				
Gölkonak	-0.56	-0.56	0.28	0.28	1				
Sarıkaya	-4.13	-3.23	-1.72	-1.72	1				

İlçe-Kasaba-Köy	Seçilen Ç	N ₂₀₁₀	N ₂₀₄₀	q _{max}	Q _{insan} (lt/sn)	B.B. ve K.B. Hayvan Yüzdesi	Q _{Hayvan} lt/sn
Beyşehir_Merkez	2.05		62305	170	122.59	0.15	7.03
Akburun	1.00		704	60	0.49	0.5	0.26
Karadiken	1.43		476	60	0.33	0.5	0.18
Gölkaşı	1.09		501	60	0.35	0.5	0.19
Kuşluca	1.00		253	60	0.18	0.5	0.10
Çiftlik Köy	2.79		500	60	0.35	0.5	0.19
Budak	1.00		632	60	0.44	0.5	0.24
Tolca	1.00		632	60	0.44	0.5	0.24
Gölyaka	1.00		918	60	0.64	0.5	0.35
Kurucuova	1.00		1481	60	1.03	0.15	0.17
Yeşildağ	1.00		2653	60	1.84	0.5	1.00
Gedikli	1.00		844	60	0.59	0.5	0.32
Karayaka	1.00		523	60	0.36	0.5	0.20
Çeltek	1.00		472	60	0.33	0.5	0.18
Gölkonak	1.00		489	60	0.34	0.5	0.18
Sarıkaya	1.00		403	60	0.28	0.5	0.15

Fabrika	1 kg pamuğun işlenmesi için gerekli su miktarı(lt)	Günlük kapasite (kg)	Q _{sanayi} (lt/sn)
Beyteks Tekstil Fabrikası	200	41000	94.91

**1 kg pamuğun işlenmesi için gerekli su 200 lt (<http://www.iski.gov.tr/Web/statik.aspx?KID=1000899>)

Hastane	Personel ve Hasta Sayısı	q _{maks} (lt/gün)	Q _{özel} (lt/sn)
Beyşehir Devlet Hastanesi	500	300	1.74

Yıl	Nüfus	Q _{insan} (lt/sn)	Q _{Hayvan} (lt/sn)	Q _{sanayi} (lt/sn)	Q _{özel} (lt/sn)	Q _{iht} (lt/sn)
2040	58566	130.56	10.96	94.91	1.74	238.17

Çoğaltma katsayıları hesabı için $\zeta = \left(\frac{N_y}{N_e} - 1 \right) \times 100$ formülü kullanılmıştır.

3.4 Sabit Girdilerin Belirlenmesi

Yılın herayı farklı olan değerlerin hesaplanarak tablo halinde girilmesinden sonra sıra yılın her ayı sabit kaldığı kabul edilen girdilerin tanımlanmasına gelmiştir. Bu girdiler aşağıdaki gibidir:

- *c: Yüzeysel akış katsayısı*

Yüzelsel akış katsayısı 0,144 olarak alınmıştır. Yüzeysel akış katsayısının hesaplanma yöntemi 3.4.1 Başlığı altında açıklanmıştır.

- *Ah: Havza alanı (hm²)*

Beyşehir Gölü havza alanı = 413725 hm²[27]

- *Maxha: Maksimum göl hacmi (hm³)*

Göl kotunun 1126 m olduğu değer için 5979 hm³'tür.

- *Minha: Minimum göl hacmi (hm³)*

Göl kotunun 1118,6 m olduğu değer için 1185,4 hm³'tür

- *Maxh: Maksimum göl yüksekliği (m)*

Göl kotunun 1126 m olduğu değer için 11.6 m'dir.

- *Minh: Minimum göl yüksekliği (m)*

Göl kotunun 1118,6 m olduğu değer için 4,2 m'dir.

- *gtk: Göl taban kotu*

Beyşehir Gölü Taban kotu= 1114,40 m'dir.

- *tahliyemax:*

Beyşehir Gölü çıkışında bulunan kanallar ile boşaltılabilecek aylık maksimum hacim değeridir. Orifis denklemi kullanılarak hesaplanmıştır.

$$V = \sqrt{2 * g * (h_2 - h_1)}(3.36)$$

$$Q = V * 0,61 * A(3.37)$$

Burada; h_2 =Maksimum göl yüzeyi kotu (1126 m), h_1 =kanal eşik kotu (1121,03) m, g =yer çekimi ivmesi ($9,81 \text{ m/s}^2$), A kesit alanı ($15 \text{ adet} \times 1,5 \text{ m} \times 1,5 \text{ m} = 33,75 \text{ m}^2$) olmaktadır.

Maksimum tahliye kapasitesi göl çıkışında bulunan 15 kapağın tamamının açık olması durumunda (3.36) ve (3.37) denklemleri kullanılarak aylık 526 hm^3 olarak hesaplanmıştır.

- *GBaH: İlk anda gölde bulunan hacim (hm^3)*

Yılbaşında gölde bulunan hacim değeri 2006 Ocak ayı su kotu 1121,74 m karşılığı olan 3016 hm^3 olarak alınmıştır.

- *BEAmax: Ekim yapılacak maksimum alan (ha)*

- *BEAmin: Ekim yapılacak minimum alan (ha)*

Sabit girdilere ek olarak bitki ekim alanı alt ve üst sınırı, turizm-tarım ağırlığı ve yağış değişimi karar değişkenleri olup modelleme başında kullanıcı tarafından belirlenmektedir. Hali hazırda Beyşehir Gölü ile sulama yapılan alan Çumra Sulama Havzası ve Beyşehir Sulama Havzası olmak üzere yaklaşık 80 000 ha'dır. (11.02.2011 tarihli ara rapor). Minimum ekim alanı olarak ise maksimum ekim alanının %10'u kabul edilmiştir. İlerleyen yıllarda damla sulama ve diğer benzeri projeler ile ekim alanının yaklaşık 340 000 ha'a kadar çıkması planmaktadır [34]. Bu çalışmada bitki ekim alanına farklı değerler verilerek hesaplamalar yapılmıştır.

- *SGAKY: Sosyal gelirler ağırlık katsayısı (yaz aylarında)*

- *SGAKK: Sosyal gelirler ağırlık katsayısı (kış aylarında)*

Tarım gelirleri, maddi olarak göl kotunun yüksek olması ile kazanılan turizm, rekreasyon gibi sosyal faaliyet gelirlerinden fazla olduğundan, GAMS programı fayda fonksiyonunda maksimum değere ulaşmak için bitki ekimine ve tarım kazancına ağırlık vermekte bitki ekim alanını maksimize ederken, göl su seviyesini minimize etme yoluna gitmektedir. Sosyal gelirler ağırlık katsayıları kullanılarak su seviyesinin belirli bir kottan daha aşağıya inmesi önlenmektedir. En kötü senaryo varsayılarak modelde sosyal gelir katsayıları yaz ve kış ayları için 0,1 ve 0,1 olarak kabul edilmiştir. Sosyal faydaya (göl hacminin mümkün olduğunca korunması) ağırlık verilmesi durumunda sosyal

fayda katsayısı artarken, tarımdan elde edilen gelir azalmaktadır. Tarım ve sosyal fayda katsayıları toplamı 1 (bir) olmaktadır.

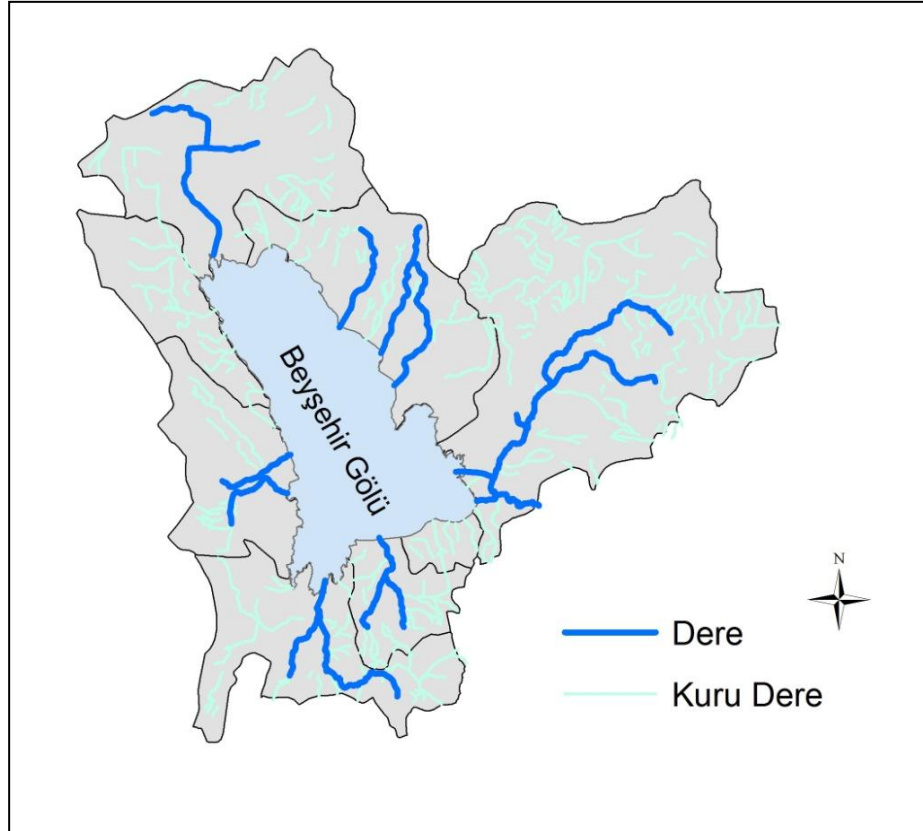
- *DEY: Yağış değişiklik katsayısı*

Yağış miktarının mevsim normallerinin üstünde olması durumunda 1 (bir)'den fazla, yağış miktarının mevsim normallerinin altında olması durumunda 1 (bir)'den az bir değer verilmektedir. Yağış normallerinde değeri 1 (bir) olmaktadır.

3.4.1 Yağış-Akış İlişkisi ve Yüzeysel Akış Katsayısının Tespit Edilmesi

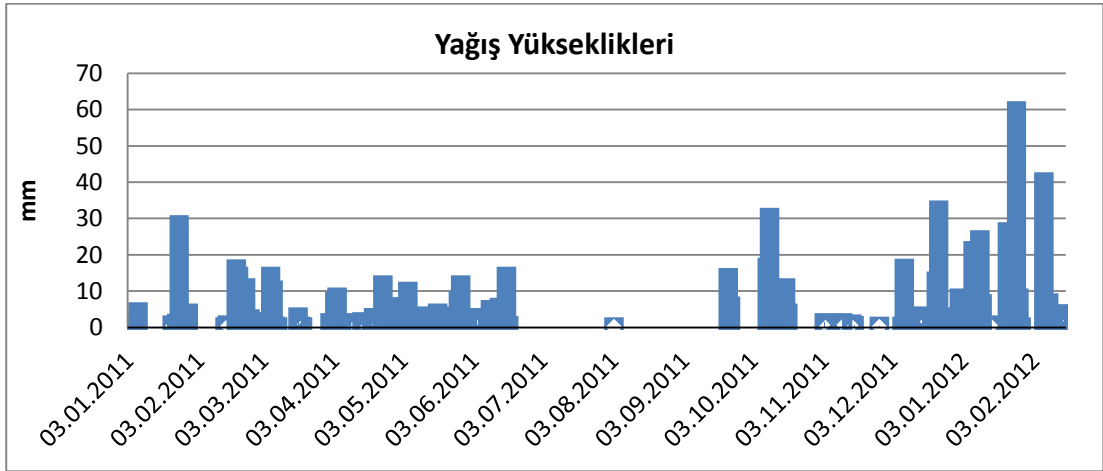
Bu bölümde, bu modelleme çalışmasının parçası olduğu TÜBİTAK 109Y271 nolu proje kapsamında, havzanın yağış-akış ilişkisi araştırılmıştır.

Çalışma alanındaki göle en büyük ortalama yıllık toplam akım $153,9 \text{ hm}^3$ ile Soğuksu-Yeşildağ istasyonunda görülmüştür. Gölün tek çıkışı olan Çarşamba Çayında ise yıllık ortama $343,8 \text{ hm}^3$ 'lük akım Beyşehir Gölü-Çıkış istasyonunda gözlenmiştir. Çalışma alanında sürekli akış halinde olan akarsuların bulunması yanında sadece yağışlı dönemlerde akış halinde olan akarsularda bulunmaktadır (Şekil 3.14).

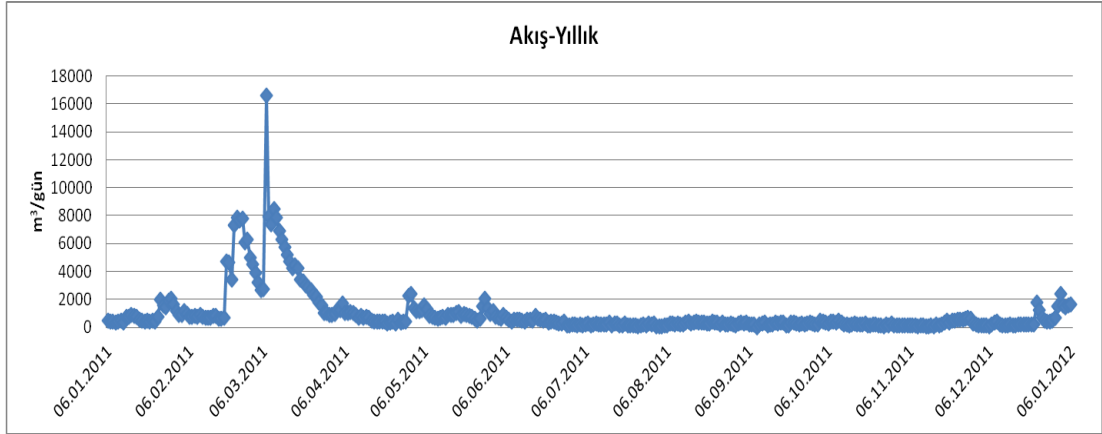


Şekil 3.14 Beyşehir Gölü Havzasında bulunan derelerin haritası [27]

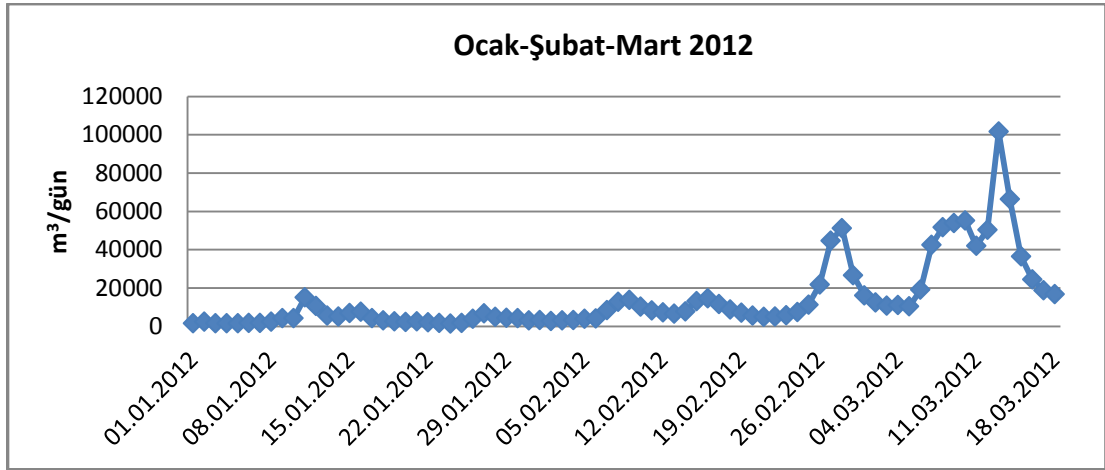
Proje kapsamında gölün doğu yakasında Mutlu Kasabasında bulunan Baharca Deresine Parshall savağı inşa edilmiş ve üzerine ultrasonik bir cihazla debi ölçümleri kayıt altına alınmıştır. Parshall savağına yaklaşık 250 metre mesafede proje kapsamında açtırılan sondaj kuyusuna basınç sensörlü limnigraf cihazı yerleştirilerek yeraltısuyu seviye değişimleri kayıt altına alınmıştır. Ayrıca Mutlu Kasabasına yağış ölçmek için plüviograf cihazı da kurulmuştur. Böylelikle gölün doğu yakasında Baharca Deresi ve civarında aynı anda yağış, yeraltısuyu seviyesi ve akış ölçümleri yapılmıştır. Gölün batı yakası içinde benzer bir durum düşünülmüştür. Konya DSİ Bölge Müdürlüğü Gölyaka Kasabası civarındaki Hizar Deresinde limnigraf ile sürekli akım ölçümleri yapmakta aynı zamanda bölgeye çok yakın bir noktada meteoroloji istasyonu ile günlük yağış ve buharlaşmayı ölçmektedir. Gölyaka Kasabasındaki mevcut keson kuyulardan birine şamandıralı limnigraf kurularak yeraltısuyu seviyesi ölçülerek Mutlu Kasabasında yapılan yağış-akış-yeraltısuyu ilişkisi gölün batı yakasında da gerçekleştirilmiştir. Proje kapsamında, ölçümü yapılan Mutlu yağış istasyonuna ait yağış verileri, Mutlu (Baharca) deresi üzerine kurulan Parshall savağında ölçülen akış verileri ile birlikte Şekil 3.15 ve Şekil 3.16.'de, 2011 yılında ölçülen debiler, Şekil 3.17. ve Şekil 3.18.'de ise 2012 yılında ölçülen debiler ve yağışlar görülmektedir.



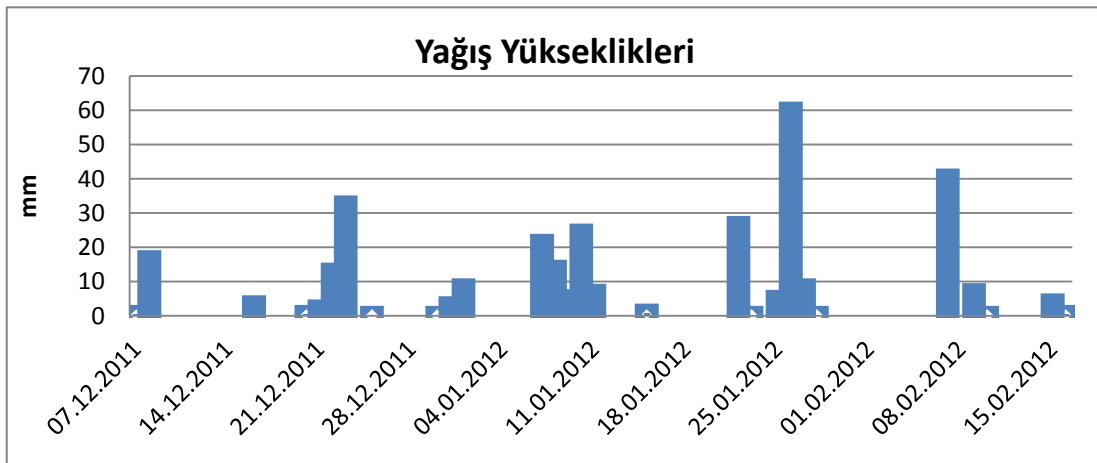
Şekil 3.15 Mutlu Havzası yağış yükseklikleri (2011) [27]



Şekil 3.16 Baharca Deresi Parshall Savağında ölçülen debileri (2011) [27]

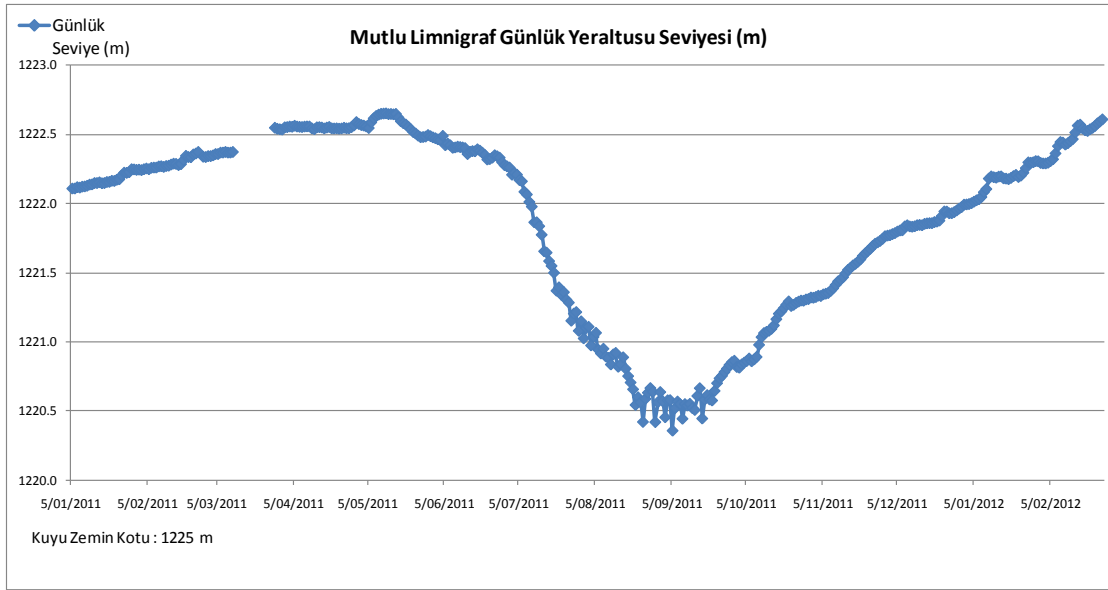


Şekil 3.17 Baharca Deresi Parshall Savağında ölçülen debileri (2012) [27]

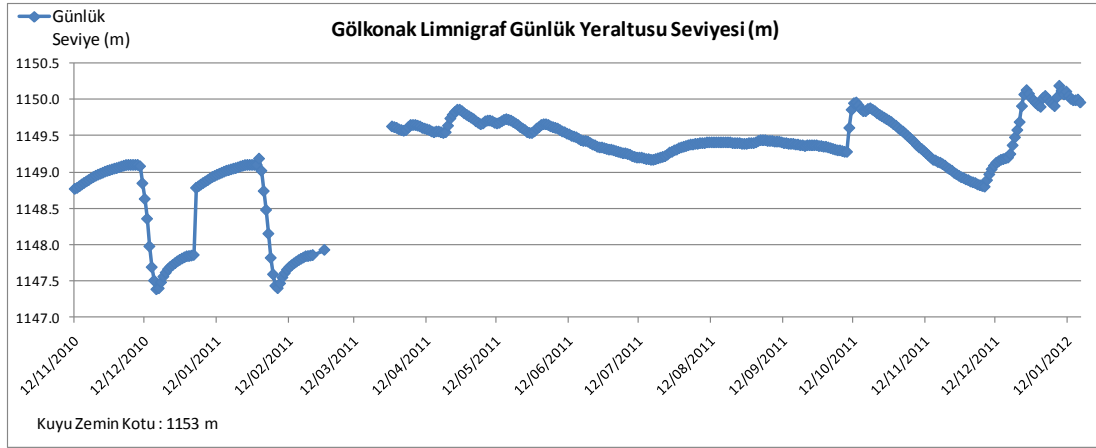


Şekil 3.18 Mutlu Havzasında Baharca Deresinde ölçülen Yağış (2012) [27]

Mutlu kasabasındaki üzerinde basınç sensörlü limnigraf olan kuyunun verileri Şekil 3.19’de ve Gölkonak’taki üzerinde şamandıralı limnigraf olan kuyunun verileri de Şekil 3.20’de verilmiştir. Şekil 3.19’de görüldüğü gibi Mutlu’daki yeraltısuyu seviyesi minimum ve maksimum değerleri arasındaki değişim yaklaşık 2 m civarındadır. 2 metrelik YASS değişimi poroziteyi 0.40, arazi kapasitesini 0.10 olarak kabul ettiğimizde yaklaşık 60 cm.’lik bir beslenime tekabül etmektedir. Gölkonaktaki şamandıralı limnigraftan alınan sonuçlarda zaman zaman ani düşmeler gözlenmektedir (Şekil 3.20). Bu kuyu köy meydanında olduğu için kuyudan aşırı bir su çekimi olma ihtimali yüksek olduğu değerlendirilmiştir.



Şekil 3.19 Mutlu kuyusundaki basınç sensörlü limnigraftan alınan YASS değişim grafiği [27]



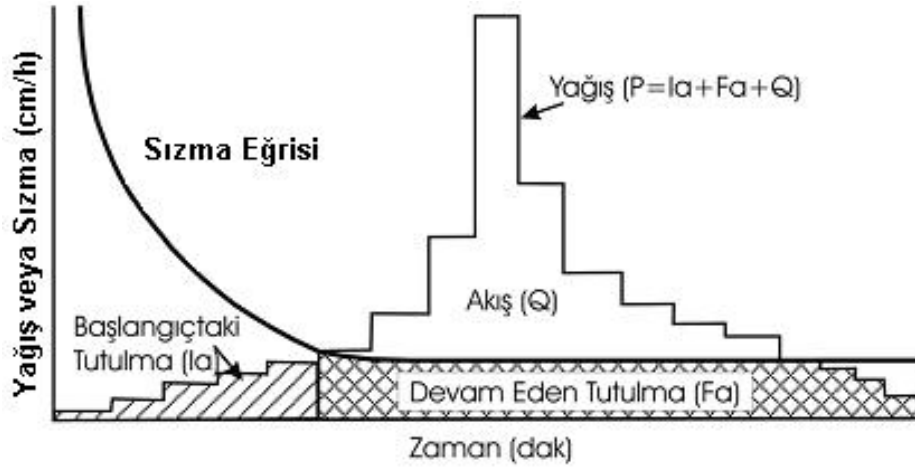
Şekil 3.20 Gölkonak kuyusundaki şamandıralı limnigrafтан alınan YASS değişim grafiği [27]

SCS Yöntemiyle Ölçüm Yapılmayan Akarsu Debilerinin Belirlenmesi;

Bu bölümde alt havzalarda bulunan ve ölçüm verileri olmayan akarsuların debilerinin hesabı için izlenilen yol ve yöntemlerden bahsedilmiştir. Üzerinde sürekli ölçüm istasyonlarının bulunduğu, gölün doğu yakasındaki Mutlu havzası ve gölün batı yakasındaki Hızır Deresi havzasında günlük yağış, akış ve yeraltı suyu seviyesi verileri mevcuttur. Mutlu havzasındaki ölçümler proje imkanları ile gerçekleştirilmiş, Hızır deresindeki yeraltı suyu ölçümleri (limnigraf) proje imkanları ile, akış ve yağış ise DSİ imkanları ile ölçülmüştür. Bu iki havzada ölçümlerle elde edilen yağış-akış ilişkisi SCS metodu ile elde edilen yağış-akış ilişkisi ile eşleştirilerek SCS metodundaki en önemli parametre olan eğri numaraları (CN) gölün doğu ve batı yakaları için kalibre edilmiştir.

SCS metodu “U.S. Soil Conservation Service” tarafından geliştirilen akım ölçümü bulunmayan havzalarda verilen bir yağışın oluşturacağı yüzeysel akışa geçen su miktarının (akış hidrografını) hesaplanması için kullanılan bir yöntemdir. Yağış başladığı zaman yüzeysel akış oluşana kadar bir miktar su, toprak ve bitkiler tarafından tutulmaktadır. Toprağın kuruluğunun fazla olması, yüzeysel akış oluşmadan önceki tutulmanın fazla olmasına neden olur. Bu sebeple toprağın yağış başladığı zamanki nem oranı, sızma ve yüzeysel akış ilişkisinin belirlenmesinde oldukça önemli bir rol oynamaktadır. Yağış devam ettikçe toprağın nem oranı artar ve infiltrasyon hızı azalır ve sonunda sabit bir değere ulaşır. Bu sabit değer toprağın infiltrasyon hızı ya da infiltrasyon kapasitesi olarak bilinir.[27]

Bu yönteme göre yağış sonrası doğrudan yüzeysel akışa geçen su miktarı, yağış miktarından düşüktür veya toprak doygun ise yani tutma ve sızma yoksa yağışa eşittir. Benzer şekilde, akış başladıktan sonra toprakta tutulan su miktarı (Fa), potansiyel maksimum tutulmadan (S) küçüktür veya ona eşittir. şekil 3.21.'de Sızma-Tutulma ve Yağış Fazlasının Zamanla Değişimi görülmektedir.[27]



şekil 3.21 Sızma-Tutulma ve Yağış fazlasının zamanla değişimi [27]

Yağış başladığında akış başlamadan önce zeminde bir miktar su tutulduğuna (I_a) göre, potansiyel akım ($P - I_a$) olmaktadır. P toplam yağış ve P_e yağış fazlası olmak üzere, SCS kuramı aşağıdaki denkleme dayanmaktadır.

$$Fa/S = \frac{P_e}{P - I_a} \quad (3.38)$$

Burada P ; Yağış, P_e ; etkin yağış, I_a ; akış başlamadan önce zeminde boşluklarda veya bitkiler üzerinde tutulan su, Fa ; akış başladıktan sonra toprakta tutulan su miktarı, S ; potansiyel en fazla tutulmadır.

Süreklilik denklemine göre; (3.38) denklemi aşağıdaki hali alır;

$$P = P_e + I_a + Fa \quad (3.39)$$

P_e aynı zamanda akış (Q) olduğuna göre, SCS akım Denklemi aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S} P \geq I_a \text{ ise} \quad (3.40)$$

$$Q = 0 \quad P < I_a \text{ ise} \quad (3.41)$$

Burada Ia, akışın başlamasından önceki kayıpların tümü olup, bitki dalları ve yapraklarında tutulan, çukurlarda depolanan, toprak yüzeyinden doğrudan buharlaşan ve toprağa süzülen suyun toplamını ifade etmektedir. Küçük havzalarda yapılan çalışmalardan elde edilen verilere göre, orijinal metotta kayıpların (Ia), fazla tutulmanın (S) %20'si civarında olduğu belirlenmiştir. Yapılan araştırmalarla bu değerin % 0-30 aralığında olabileceği belirtilmiştir (USDA-SCS, 1985; Ponce and Hawkins, 1996). Ancak daha sonra yapılan çalışmalarla bazı araştırmacılara göre belirlenen bu oranın çok yüksek olduğu, %10-15 civarında veya daha düşük yüzde değerlerinin dikkate alınabileceğini belirtmişlerdir. (Aron vd. 1977, Fogel vd. 1980, and Springer vd. 1980)

Burada maksimum tutulma olan S; (mm) olup. Aşağıdaki denklemden hesaplanmaktadır

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (3.42)$$

CN (eğri numarası) değeri hidrolojik toprak grubu, arazi örtüsü ve arazinin kullanımı (teraslama vb.), hidrolojik koşullar ve toprağın önceki nem koşullarına bağlı olarak 0-100 arasında değişir. Ancak, çoğunlukla 55-95 arasında değişmektedir [27].

Toprağın önceki nem oranı önemli olduğu için son 5 gün içindeki yağışlara bağlı olarak eğri numaralarının değişmesi gerektiği belirtilmiştir. Böylece orta derecedeki nem oranı için asıl eğri numarası CN2, düşük nem oranı şartları için CN1 ve yüksek nem oranı için CN3 tanımlanmıştır. CN2'den CN1 ve CN3'ün hesaplanması için aşağıdaki cebirsel denklemleri geliştirilmiştir.

$$CN1 = \frac{CN2}{2,334 - 0,01334.CN2} \quad (3.43)$$

$$CN3 = \frac{CN2}{0,4036 + 0,0059.CN2} \quad (3.44)$$

Son 5 günlük yağış yüksekliği göz önüne alındığında mevsimlere göre verilmiş olan sınırlar ve eğri numaraları Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6 Eğri Numaraları [27]

1.Eğri Numarası	2.Eylül-Mart 3.(mm)	4.Nisan-Ağustos 5.(mm)
6.CN1	7.< 12.7	8.< 35.56
9.CN2	10.12.7 - 27,94	11.35.56 - 53.34
12.CN3	13.> 27.94	14.> 53.34

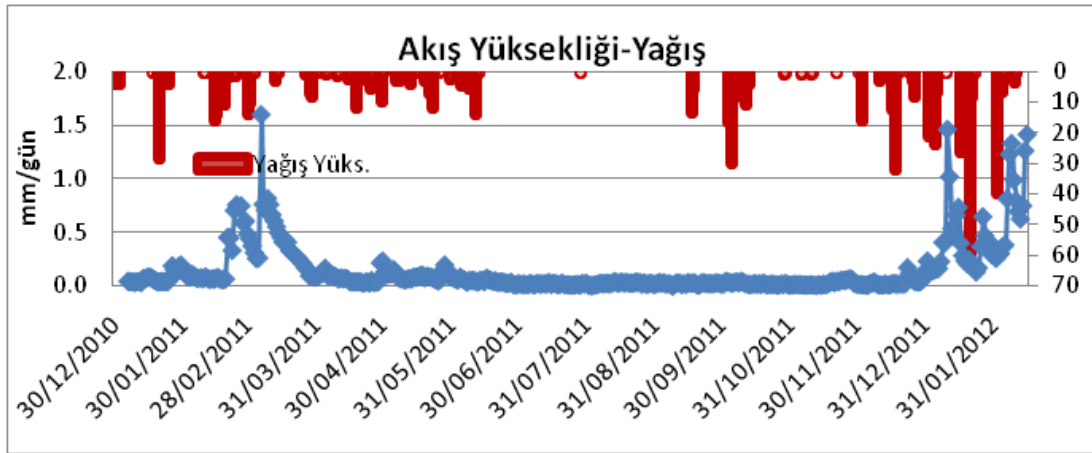
CN değerleri uydu verisi, arazi kullanım ve toprak çeşidine göre YASS Modelinde beslenim hesaplarında kullanılmak üzere her bir grid için hesaplanmıştır. Grid bazında hesaplanan CN değerleri kullanılarak her bir alt havza için ortalama bir CN değeri hesaplanmıştır. SCS metodu, günlük yağış verilerini kullanarak akış hesapladığından her bir gride ait günlük yağış verisi ve CN değeri SCS metodu için gerekmektedir. Ancak her bir gride günlük yağış verisi atamak için, kriging metoduyla mevcut yağış istasyonlarının günlük yağışlarını 365 defa model gridlerinin üzerine dağıtmak gerekmektedir. Bu işlem çok uzun zahmetli ve çok fazla bilgisayar hafızası kullanan bir işlem olacaktı. Bu işlem kriging yerine Thiessen Poligonu yöntemiyle yapıldı ve her bir sürekli yağış istasyonuna bir Thiessen poligonu atandı. Bu poligonların ortalama CN'leri hesaplandı. Böylece her poligon için ortalama CN ve 365 günlük yağış verisi elde edilmiştir. Bu verilerden Excel ortamında SCS metodu kullanılarak ilgili poligona ait günlük akışlar hesaplanmıştır.

Uydu görüntülerinden elde edilen arazi kullanımı ile toprak haritalarının kesiştirilmesi neticesinde elde edilen Mutlu havzasının ortalama CN değeri 72.66 dır. Ocak 2011 ve Şubat 2012 arasındaki Baharca Deresi Parshall savağından geçen toplam akış yüksekliği, bu kesitten geçen toplam su miktarının drenaj havzası alanına bölünmesiyle 57.71 mm olarak hesaplanmıştır. SCS metodu denklemleri kullanılarak yağış-akış yükseklikleri hesaplanmıştır. SCS ile hesaplanan akış yüksekliği ile parshall savağında ölçülen akış yüksekliği bir birlerine eşitlenerek farklı bir CN değeri bulunmuştur. Son 5 gün meydana gelen yağışlar göz önüne alınarak (yani başlangıç toprak nemi dikkate alınarak), kayıpların (Ia), maksimum tutulmanın (S) %20'si ve %10'u olduğu durumlarda elde edilen yeni eğri (CN) numaraları Çizelge 3.7.'de verilmiştir.

Çizelge 3.7 Son beş günlük toplam yağış göz önüne alındığında Eğri Numaraları (CN)

15.Ia	16.CN2	17.CN1	18.CN3	19.Fark %
20.0.1 S	21.59,36	22.38,49	23.78,75	24.-22,4
25.0.20 S	26.66,5	27.45,96	28.83,55	29.-8,48

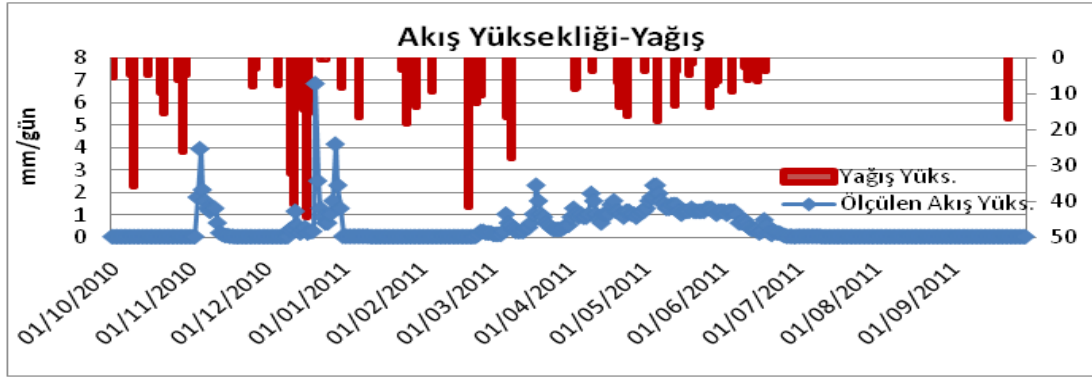
Bu durumda, uydu görüntüleri ile elde edilen CN değerinin %8.48 azaltılarak 66.5'e düşürülmesi ile yağış-akış arasındaki ilişkinin daha doğru temsil edileceği kanaatine varılmıştır. Mutlu deney havzasından elde ettiğimiz bu sonucu gölün doğu yakasındaki Kırelî, Şarkikaraağaç ve Sarısu havzalarına da uygulayarak buralardaki yağış-akış ilişkileri tespit edilmiştir



Şekil 3.22 Yağış- Akış yükseklikleri (Mutlu Havzası) [27]

Gölün batı yakasındaki deneysel Hizar Deresi (Gölyaka) havzasında DSİ tarafından yapılan akım ölçümleri ve Gölyaka istasyonundaki yağış verileri arasındaki ilişkiye bakarak burada da Mutlu havzasında uyguladığımız yöntem uygulanarak gölün batı yakasındaki CN kalibre edilmiştir.

Hizar deresi havzasına ait yağış ve akış yükseklikleri Şekil 3.23'de görülmektedir. Ekim 2010-Eylül 2011 tarihleri arasında ölçülen toplam akım yüksekliği, toplam akışın havza alanına bölünmesiyle 147.76 mm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.23 Yağış- Akış yükseklikleri (Hizar Deresi-Yenişarbademli Havzası) [27]

Bu havzada uydu görüntülerinin toprak haritası ile kesiştirilmesinden elde edilen CN değeri 87.81 olarak belirlenmiştir. Hizar Deresi Havzasında son 5 günde meydana gelen yağışlar göz önüne alınarak, kayıpların (Ia), maksimum tutulmanın (S) %20 si olduğu durumda; CN2; 81,608, CN1; 65,53 ve CN3 ise 90.203 olarak hesaplanmıştır. İlk belirlenen CN ile aradaki fark -%7.06 dir.

Böylelikle akış ölçümleri olmayan havzalarda yağış ölçümlerinden akışı hesaplanabilmesi için gerekli olan eğri numarasındaki düzeltmeler yaklaşık olarak belirlenmiştir. Uydu görüntüsü ve toprak haritasından elde edilen CN değerleri, gölün batı kısmındaki kireç taşlarının üzerindeki Gedikli, Yenişarbademli, Yeşildağ, Üstünler ve Karadiken havzalarında %7,06, gölün doğu kısmındaki Kireli, Sarısu ve Şarkikaraağaç havzalarında ise % 8.48 azaltılmıştır. Bütün havzalar için yağış yükseklikleri ve SCS yöntemiyle belirlenen akış yükseklikleri Çizelge 3.8’de verilmiştir.

Çizelge 3.8 Mutlu ve Gölyaka Deney havzalarına göre kalibre edilmiş CN değerleriyle Thiessen poligonlarına göre hesaplanmış yağış-akış katsayıları [27]

Thiessen Poligonu	CN _{normal}	CN düzeltilmiş	Σ yağış yüks.	Σ SCS akış yüks.	Akış Katsayısı (%)
Mutlu*	72.66	66.50	441.2	57.7	13.1
Gölyaka*	87.81	81.61	673.7	147.8	21.9
Gedikli	76.74	71.32	577.7	62.5	10.8
Yeşildağ	80.88	75.17	603.4	89.7	14.9
Huğlu	79.02	73.44	855.3	155.9	18.2
Beyşehir	79.50	73.88	450.0	46.6	10.4
Yalvaç	69.62	63.71	441.0	5.6	1.3
Yatağan	74.74	68.40	584.8	97.4	16.7

* Thiessen Poligonu değil alt havza olarak hesap yapılmıştır.

3.5 Değişkenlerin Tanımlanması

Sabit girdilerin ardından, denklem ve kısıtların tanımlanmasından önce bu denklemlerde yer alan değişkenlerin tanımları yapılmıştır. GAMS programı amaç fonksiyonunu maksimize ya da minimize ederek işlem sonunda aşağıda sıralı bulunan tüm değişkenlerin optimum değerlerini elde etmektedir. Tüm hacim değerleri aksi belirtilmedikçe hm3,göl yüzey kotu ve göl su seviyesi yüksekliği m,ekim alanı ha, getiri ve götürüler ise TL olarak hesaplanmıştır.

Bu modelde yer alan pozitif değişkenler aşağıdaki gibidir:

- $V_g(A,Y)$: Güncel Hacim
- $V_{gB}(A,Y)$: Beyşehir Gölü Hacmi
- $GBH(Y)$: Yıl Başı Göl Hacmi
- $QYA(A,Y)$: Yüzeysel Akış İle Gelen Hacim
- $QYSG(A,Y)$:Yeraltı Giren Su Hacmi
- $QGA(A,Y)$:Göl Alanı Üzerine Düşen Yağış İle Gelen Hacim
- $QGEM(A,Y)$: Gembos Derivasyon Tüneli İle Gelen Hacim
- $QYSC(A,Y)$:Yeraltı Çıkan Su Hacmi
- $QET(A,Y)$: Buharlaşma İle Giden Hacim
- $QKLM(A,Y)$: Kullanım Suyu İçin Giden Hacim
- $QSLM(A,Y)$: Sulama İçin Gölden Çekilebilecek Hacim
- $SLMM(A,Y)$:Sulama Suyu Maliyeti (TL)
- $hBSI(A,Y)$: Gölden Karşılınması Gereken Bitki Su İhtiyacı (mm)
- $QSAL(A,Y)$: Salınan Su Hacmi
- $QTAS(A,Y)$:Taşkın Hacmi
- $Ag(A,Y)$: Aylık Ortalama Göl Alan
- $h(A,Y)$: Aylık Ortalama Göl Yüksekliği
- $gyk(A,Y)$:Göl Yüzeyi Kotu

- BEA(Y) :Bitki Ekim Alanı
- Gelen(A,Y) :Gelen Hacimler Toplamı
- Giden(A,Y): Giden Hacimler Toplamı
- BEAF: Bitki Ekim Alanı Getirisi
- QSLMM: Sulama Suyu Maliyeti
- TASZ: Taşkın Maliyeti
- QSALM: Salınan Su Maliyeti
- KURUF: Kuru tarım getirisi

Bu modelde yer alan serbest değişkenler ise aşağıdaki gibidir;

- FAYDA: Amaç denklemi ile elde edilen sayısal değer.
- SOSYALF: Sosyal faaliyetler ile elde edilen faydalar.
- SOSYAL(A,Y):Sosyal faaliyetler getirisi veya zararı

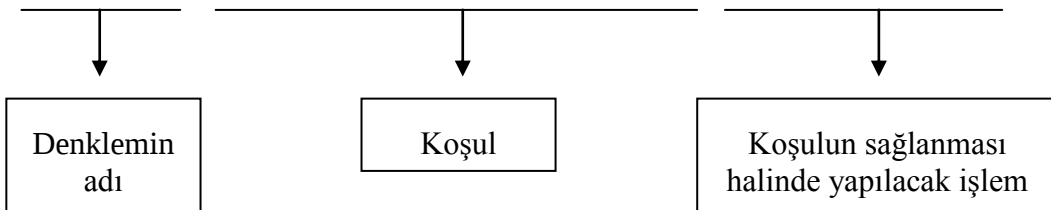
3.6 Denklemler Amaç Fonksiyonu ve Kısıtların Tanıtılması

Değişken ve sabit girdilerin tanımlanmasından sonra model ile çözülmesi gereken denklemler ile bu denklemleri etkileyen kısıtlar tanımlanmaktadır. GAMS programında her denklem bir isim ile tanımlanmaktadır.

- Göl Başlangıç Hacmi Denklemi: $VgDb1(A,Y), VgDb2(A,Y)$

İlk yılın ilk ayında göl başlangıç hacmi, sabit bir değer olanGBaH (Göl Başlangıç Hacmi) değerine eşittir. GAMS kodu aşağıdaki gibidir.

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



İkinci yıldan itibaren yılın ilk ayındaki göl hacmi, bir önceki yılın son ayı sonundaki göl hacmine eşit olmaktadır. GAMS kodu aşağıdaki gibidir.

$VgDb2(A,Y) \$ ((ORD(Y) \neq 1) \text{ and } (ORD(A) \text{ eq } 1)).. GBH(Y)=Vg(A+11,Y-1);$

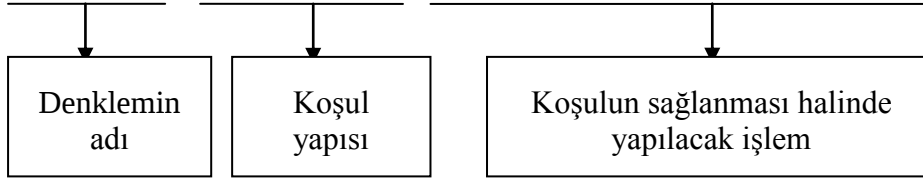
○ Su Bütçesi Denklemi: $VgD1(A,Y), VgD2(A,Y)$

İlk aylarda su bütçesi denklemi yılbaşındaki göl hacmi ile gelen hacimler toplamından giden hacimlerin çıkarılması ile hesaplanmaktadır. Su bütçesi ile hesaplanan $Vg(A,Y)$ değeri göl hacmi, taşkın hacmi ve salınan su hacmini içermektedir.

$$V_{TOPLADM} = V_{ilk} + V_{Gelen} - V_{Giden}$$

Gams kodu;

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



İlk aylar dışında su bütçesi denklemi ay içerisinde gelen hacimler ile önceki aydan devir eden hacimden, giden hacimlerin çıkarılması ile hesaplanmaktadır.

$$V_{TOPLAM} = V_{Gelen} - V_{Giden} + V_{Devreden}$$

Gams kodu;

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

○ Gelen ve Giden Hacimler Denklemi: $GelenD(A,Y), GidenD(A,Y)$

Gelen hacimler denklemi ile hacim artışına neden olan değerler toplanmakta iken giden hacimler denklemi ile hacim azalışına neden olan değerler toplanmaktadır.

$$V_{Gelen} = V_{Yüzeysel Akış Hacmi} - V_{Yağış Hacmi} + V_{Yeraltı Gelen Hacim} + V_{Gembos Gelen Hacim}$$

Gams kodu;

$GelenD(A,Y)..Gelen(A,Y) =e= QYA(A,Y)+QGA(A,Y)+QYSG(A,Y)+QGEM(A,Y);$

$$V_{Giden} = V_{Buharlaştırma Hacmi} - V_{Kullanım Hacmi} + V_{Yeraltı Giden Hacim} + V_{Sulama Hacmi}$$

Gams kodu;

$GidenD(A,Y)..Giden(A,Y) =e= QET(A,Y)+QKLM(A,Y)+QYSC(A,Y)+QSLM(A,Y);$

- Göl Hacmi Denklemi: $V_{gBD}(A,Y)$

Göl hacmi denklemi ile su bütçesi denklemi ile hesaplanan genel hacim değerinden taşkın ve salınan su hacimleri çıkartılarak, her ay için Beyşehir Gölü hacmi ($V_{gB}(A,Y)$) hesaplanmaktadır. Taşkın ve salınan hacim değerlerinin 0 (sıfır) olması durumunda göl hacmi değeri, su bütçesi ile hesaplanan hacim değerine eşit olmaktadır. GAMS kodu aşağıdaki gibidir;

$$V_{GÖL} = V_{TOPLAM} + V_{Salınan} - V_{Taşkın}$$

Gams kodu;

$$V_{gBD}(A,Y)..V_{gB}(A,Y) = e= V_{g}(A,Y) - Q_{SAL}(A,Y) - Q_{TAS}(A,Y);$$

- Yüzeysel akış ile gelen hacim denklemi: $Q_{YAD1}(A,Y)$, $Q_{YAD2}(A,Y)$

Bu denklem ile havza alanı yüzeysel akış katsayısı ve bitki su ihtiyacı fazlası yağış miktarı çarpılarak yüzeysel akış ile göle gelen hacim miktarı hesaplanmaktadır. Yağışların bitki su ihtiyacından az ise yüzeysel akışa geçecek su miktarı 0 kabul edilmektedir. Yağışların mevsim normalleri değerlerinde olması durumunda DEY değeri 1 kabul edilmektedir.

$$Q_{YAD1}(A,Y) \$ ((bsi(A,Y) - ya(A,Y)) < 0)..$$

$$Q_{YA}(A,Y) = e= Ah * c * (ya(A,Y) - bsi(A,Y)) * (0.00001) * DEY;$$

$$Q_{YAD2}(A,Y) \$ ((bsi(A,Y) - ya(A,Y)) > 0)..Q_{YA}(A,Y) = e= 0;$$

- Göl alanı üzerine düşen yağış hacmi denklemi: $Q_{GAD}(A,Y)$

Yağış yüksekliği değerinin ($ya(A,Y)$), göl alanı ($Ag(A,Y)$) ile çarpılması ile hesaplanmaktadır.

$$V_{GAD} = \text{Yağış yüksekliği} \times \text{Göl Alanı} \times \text{Yağış Değişiklik Katsayısı}$$

Gams kodu;

$$Q_{GAD}(A,Y)..Q_{GA}(A,Y) = e= ya(A,Y) * (0.00001) * Ag(A,Y) * DEY;$$

- Göl yüzey kotu denklemi: $gykd(A,Y)$

Göl taban kotuna (gtk), su seviyesi yüksekliğinin ($h(A,Y)$) eklenmesi ile hesaplanmaktadır.

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

- Göl yüzeyi buharlaşma hacim denklemi: $Q_{ETD}(A,Y)$

GAMS dışında Penman denklemleri kullanılarak hesaplanan göl yüzeyi buharlaşma yükseklikleri, GAMS tarafından hesaplanan en faydalı yüksekliğe bağlı göl alanı ile çarpılarak göl yüzeyinde meydana gelen hacim kaybı hesaplanmaktadır.

$$Q_{ETD} = \text{Buharlaşma Yüksekliği} \times \text{Göl Alanı}$$

Gams kodu;

$$Q_{ETD}(A,Y)..Q_{ET}(A,Y) = e = bh(A,Y)*(0.00001)*Ag(A,Y);$$

- Sulama suyu hacim denklemi: $Q_{SLMD}(A,Y)$

Bitki su ihtiyaçları GAMS dışında Blaney-Criddle denklemi kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplanan değerlerden sulama dönemi yağış miktarları çıkarılarak gölden karşılanması gereken sulama suyu miktarı hesaplanmış, bu değerler GAMS tarafından hesaplanan en faydalı bitki ekim alanı ile çarpılarak toplam bitki su ihtiyaç hacmi belirlenmiştir. Ekilen bitki olarak şeker pancarı seçilmiştir. Şeker pancarı hasat eğrileri fayda fonksiyonundaki en büyük getiriyi sağlamaktadır. Bu nedenle fayda fonksiyonu maksimize edilirken GAMS programı bitki ekim alanını mümkün olduğunca yüksek tutmaya çalışmaktadır.

$$Q_{SLM} = \text{Bitki Ekim Alanı} \times \text{Bitki Su İhtiyacı}$$

Gams kodu;

$$Q_{SLM}(A,Y) = e = BEA(Y)*hBSI(A,Y)*0.00001;$$

Aylık bitki su ihtiyacı, aylık yağış miktarından fazla ise gölden karşılanacak su miktarı aşağıdaki denklem ile hesaplanmaktadır.

$$hBSID1(A,Y) \$ ((bsi(A,Y)-ya(A,Y)) > 0) \dots hBSI(A,Y) = e = bsi(A,Y)-ya(A,Y);$$

Aylık yağış miktarı, bitki su ihtiyacından fazla ise gölden karşılanacak bitki su ihtiyacı miktarı 0 (sıfır) olmaktadır.

$$hBSID2(A,Y) \$ ((bsi(A,Y)-ya(A,Y)) < 0) \dots hBSI(A,Y) = e = 0;$$

- İçme ve kullanım suyu hacim denklemi: $Q_{KLMD}(A,Y)$

İçme ve kullanım suyu hacmi her ay için sabit bir değer olarak kabul edilmiştir.

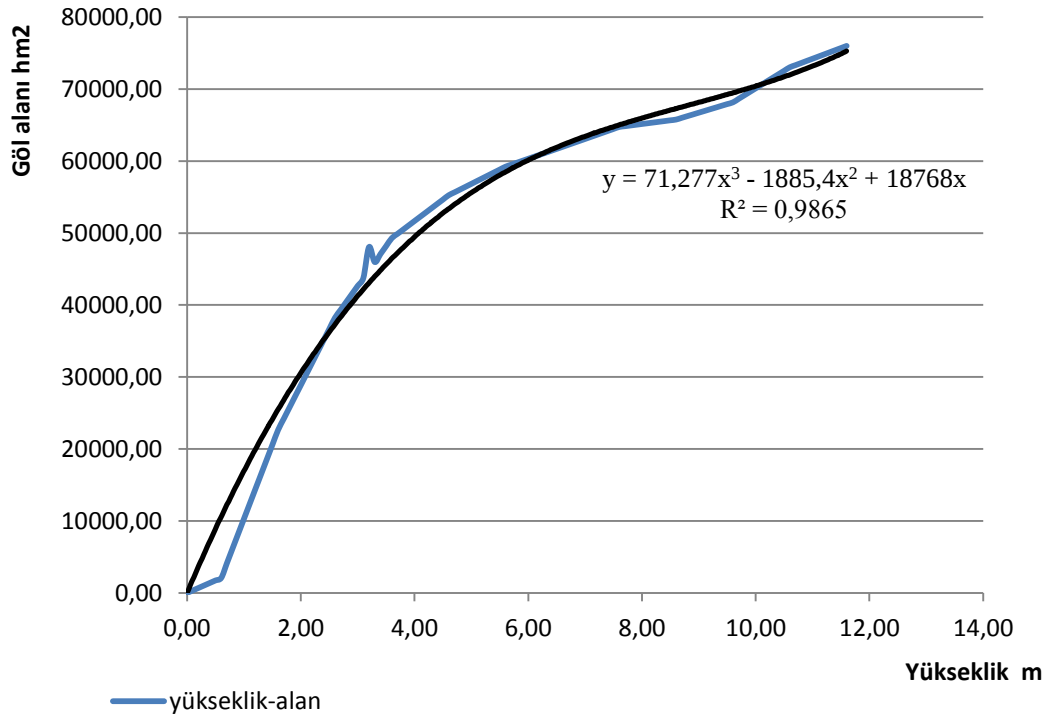
$$Q_{KLMD}(A,Y)..Q_{KLM}(A,Y) = e = ks(A,Y)*0.1;$$

- Göl yüzey alanı ve göl derinliği arasındaki ilişki denklemi: $AgD(A,Y)$

Bu denklem ile göl yüzey alanı, göl yüksekliğine bağlı olarak hesaplanmaktadır. . Beyşehir Gölü'ne ait olan hacim-alan diyagramı da diğer hacim-alan diyagramları gibi doğrusal formda değildir. Diyagram doğrusal olmadığı zamanlar kurulacak optimizasyon modeli doğrusal olmayan programlama NLP yöntemi ile de çözülebilir. Bunun için Excel programı kullanılmış hacim alan diyagramı doğrusal olmayan bir denklem haline çevrilmiştir.(Şekil 3.24)

$AgD(A,Y)..Ag(A,Y) = e =$

$$(71.277*(h(A,Y)*h(A,Y)*h(A,Y))-1885.40*(h(A,Y)*h(A,Y))+18768.8*h(A,Y));$$



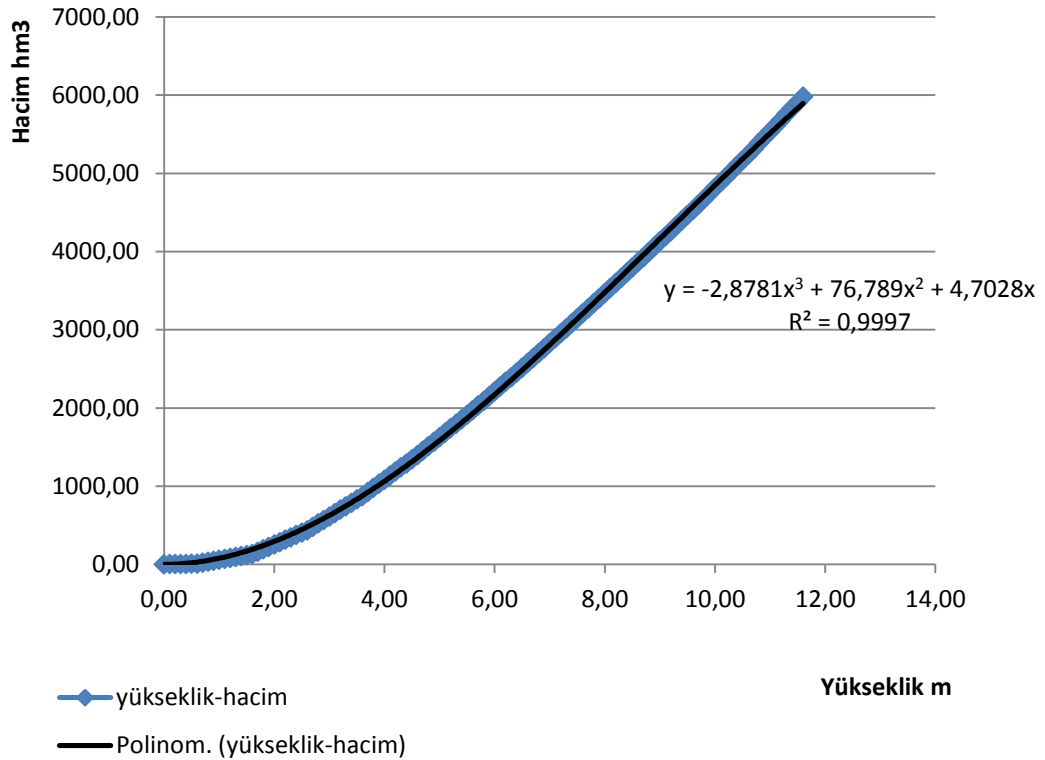
Şekil 3.24 Beyşehir Gölü Alan-Derinlik İlişkisi

- Göl hacmi ve göl derinliği arasındaki ilişki denklemi: $HgD(A,Y)$

Göl yüzeyi ile göl su seviyesi yüksekliği ilişkisi için oluşturulan denkleme benzer şekilde bu denklem ile göl hacmi ve göl derinliği arasındaki ilişkiye dayanılarak oluşturulmuştur.(Şekil 3.25)

$$HgD(A,Y) = VgB(A,Y) = e =$$

$$(-2.8781 \cdot (h(A,Y) \cdot h(A,Y) \cdot h(A,Y))) + 76.789 \cdot (h(A,Y) \cdot h(A,Y)) + 4.7028 \cdot h(A,Y);$$



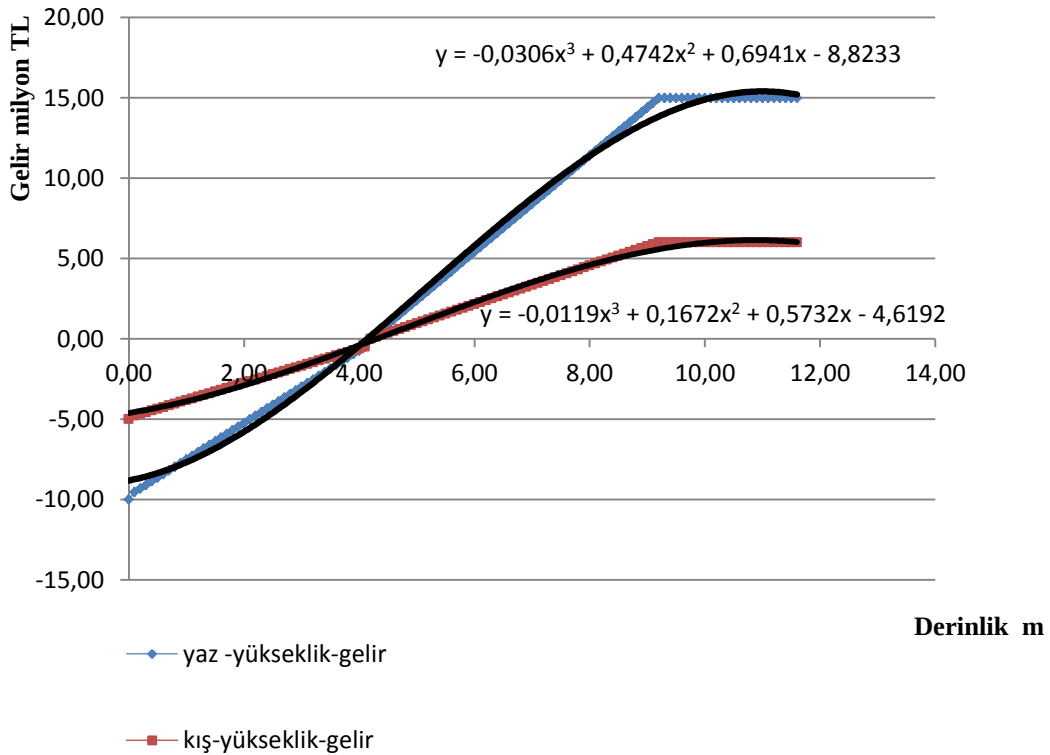
Şekil 3.25 Beyşehir Gölü Hacim-Derinlik İlişkisi

- Göl derinliği ve sosyal gelirler arasındaki ilişki denklemleri: $TurYAZD(A,Y)$, $TurKISD(A,Y)$

Beyşehir Gölü'nden elden edilen sosyal faaliyet gelirleri (turizm/rekreasyon, balıkçılık vb.), literatür araştırması sonucu elde edilen sonuçlara dayanılarak su seviyesi yüksekliği ile bağlantılı olarak değişen bir grafik haline getirilmiştir. Yaz ve kış aylarında sosyal faaliyet gelirleri farklılık göstermektedir. Hem kış, hem yaz aylarında su seviyesi düştükçe turizm, rekreasyon ve balıkçılık gelirin düştüğü, su seviyesi yükseldikçe bu gelirlerin artacağı sonucuna ulaşılmaktadır. Göl su seviyesi minimum derinlik olarak belirlenen 4.2 m'ye ulaştığında sosyal faaliyet gelirleri 0 (sıfır) olmakta,

daha düşük su derinliklerinde ise negatif değerler elde edildiği yani zarar edileceği varsayılmaktadır. Göl su seviyesinin belli bir seviyeden daha çok yükselmesinin turizm/rekreasyon (sosyal faaliyetler) gelirine daha fazla etki etmeyeceği sonucuna ulaşılmaktadır.

Sosyal gelirler (turizm, rekreasyon) ile göl derinliği arasındaki ilişkiyi gösterir grafik aşağıdaki gibidir.



Şekil 3.26 Beyşehir Gölü Derinlik-Sosyal Fayda Gelirleri İlişkisi

Yaz ayları için kullanılan denklem GAMS programında aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

TurYAZD(A,Y)\$(YAZ(A))..SOSYAL(A,Y) =e=

-0.0306*(h(A,Y)*h(A,Y)*h(A,Y))+0.4742*(h(A,Y)*h(A,Y))+0.6941*h(A,Y)-8.8233;

Kış ayları için kullanılan denklem GAMS programında aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

TurKISD(A,Y)\$(KIS(A))..SOSYAL(A,Y) =e=

-0.0119*(h(A,Y)*h(A,Y)*h(A,Y))+0.1672*(h(A,Y)*h(A,Y))+0.5732*h(A,Y)-4.6192;

Modelde yaz ve kış aylarında elde edilecek sosyal faaliyet gelirlerinin alt sınırları sosyal gelirler ağırlık katsayıları ile sınırlandırılmaktadır. Bu katsayı değeri yükseldikçe yüksek hacim ile elde edilmesi gerekli gelir miktarı yükselmekte, dolayısı ile göl su seviyesinin düşebileceği minimum kot değeri artmaktadır.

Yaz aylarında kullanılan kısıt denklemi modelleme programında aşağıdaki gibi tanımlanmıştır;

$$\text{SOSYAL.lo (A,Y)} \$ (\text{YAZ(A)}) = 15-(0.25*(100-100*\text{SGAKY}));$$

Buna göre SGAKY değeri 1'e yaklaştıkça turizm geliri ve buna bağlı olarak göl su seviyesi artış göstermektedir. SGAKY değeri 1 olduğunda GAMS turizm-rekreasyon gelirlerini minimum 15 milyon TL olarak almaya zorlanmakta bu nedenle su derinliğini minimum 9,2'e kadar düşürebilmektedir.

Kış aylarında benzer şekilde kısıt denklemi aşağıdaki gibi tanımlanmıştır;

$$\text{SOSYAL.lo (A,Y)} \$ (\text{KIS(A)}) = 5-(0.1*(100-100*\text{SGAKK}));$$

- Fayda Fonksiyonu Denklemi:

Modelleme çalışması ile maksimize edilen fayda fonksiyonu aşağıdaki gibidir;

$$\text{FAYDA} = \text{BEAF} + (\text{SOSYALF}) - (\text{QSLMM}) - (\text{TASZ}) - (\text{QSALM}) + (\text{KURUTF});$$

Burada; BEAF Bitki ekim alanı getirisi, SOSYALF sosyal faaliyetler getirisi, QSLMM sulama gideri, TASZ taşkın zararı, QSALM salınan su maliyeti, KURUTF kuru tarım ile elde edilen gelirdir.

SULU TARIM FAYDASI

$$= \left(\sum_{y=\text{İLK YIL}}^{\text{SONUNCU YIL}} \text{YILLIK BİTKİ EKİM ALANI} \right) * \text{BİRİM GETİRİ}$$

Gams kodu;

$$\text{BEAF} = \text{sum}((Y), \text{BEA}(Y)) * 0.0042$$

Bitki ekim alanı ile elde edilen getiri, her yılbaşında GAMS tarafından belirlenen maksimum ekim alanı ile hektardan elde edilen getirinin çarpılması ile elde edilen yıllık faydanın toplanması ile hesaplanmaktadır.

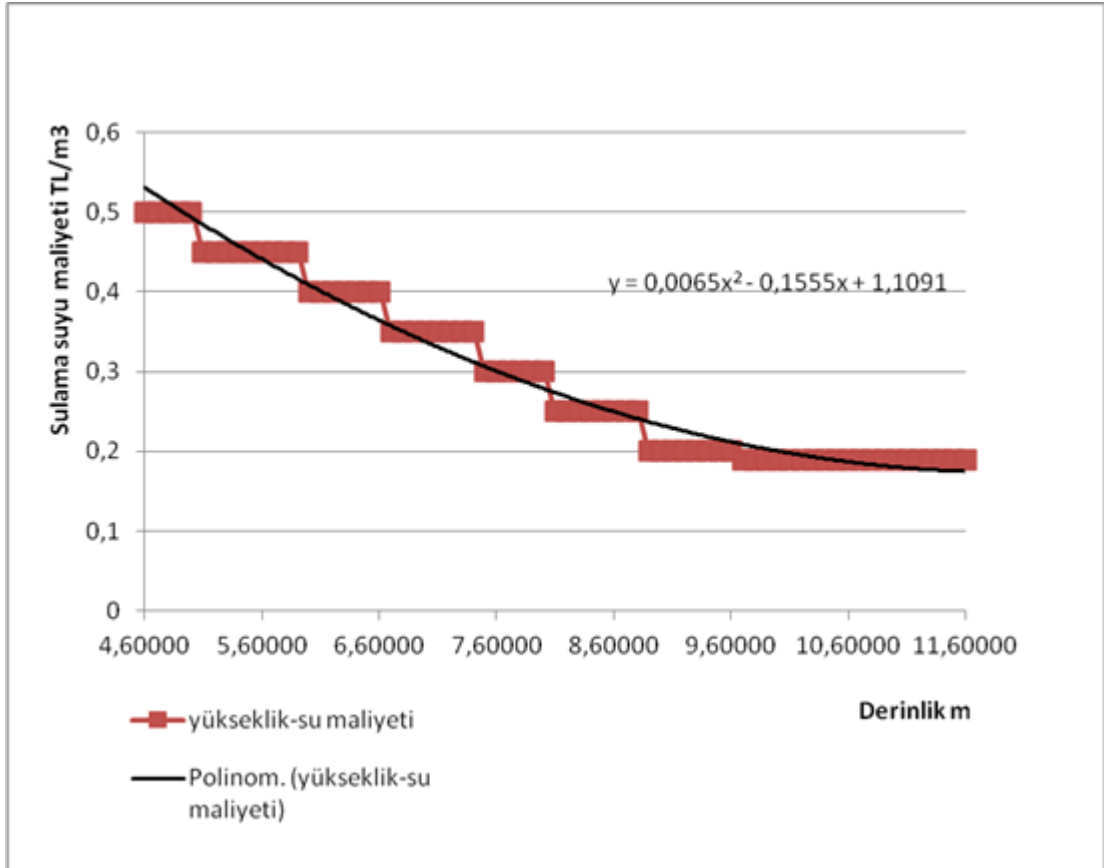
SULAMA MALİYETİ

$$= \left(\sum_{y=\text{İLK AY}}^{y=\text{SONUNCU AY}} \text{SULAMA SUYU HACMİ} \right) * \text{BİRİM SULAMA MALİYETİ}$$

Gams kodu;

$$\text{QSLMM} = e = (\text{sum}((A,Y), \text{QSLM}(A,Y))) * \text{SLMM}(A,Y)$$

Sulama suyu giderleri, her ay için tespit edilen sulama suyu hacmi değerinin, her ay için tespit edilen sulama suyu maliyeti ile çarpılarak toplanması ile hesaplanmaktadır. Sulama suyu maliyeti göl su yüksekliği azaldıkça artmakta, göl su yüksekliği arttıkça azalmaktadır.(Şekil 3.27) Sulama suyu maliyeti göl derinliği ile maliyet arasında bulunan ilişkiye ait denklem kullanılarak hesaplanmaktadır.



Şekil 3.27 Sulama suyu maliyeti-göl derinliği arasındaki ilişki

Birim sulama maliyeti göl derinliğine bağlı bir değer almaktadır. Göl su seviyesinin artması halinde birim sulama maliyeti azalırken, göl su seviyesinin düşmesi halinde birim sulama maliyetinin artış göstereceği varsayılmaktadır.(Şekil 3.27)

Gams kodu;

$$SLMM(A,Y)=e=0.0065*(h(A,Y)**2)-0.1555*h(A,Y)+1.109;$$

TAŞKIN ZARARI

$$= \left(\sum_{y=İLK AY}^{SONUNCU AY} TAŞKIN HACMI \right) * BİRİM TAŞKIN ZARARI$$

Gams kodu;

$$TASZ =e= (sum((A,Y),QTAS(A,Y)))*10000;$$

Taşkın zararı, taşkın olması halinde her hm³ taşkın hacminin vereceği zararın toplanması ile hesaplanmaktadır.

SALINAN SU MALİYETİ

$$= \left(\sum_{y=İLK AY}^{SONUNCU AY} SALINAN SU HACMI \right) * BİRİM SU MALİYETİ$$

Gams kodu;

$$QSALM =e= (sum((A,Y),QSAL(A,Y)))*0.19;$$

Salınan su maliyeti, sulama suyu fazlası olması halinde, Beyşehir ilçesinde bulunan kapaklar vasıtası ile salınan her hm³ su hacmi değeri ile taban su maliyeti değerinin çarpılarak toplanması ile hesaplanmaktadır. Aylık maksimum tahliye kapasitesi 526 hm³ olarak hesaplanmış olup. Bu değerün üstünde salınması gereken hacim olması durumunda taşkın yaşanacağı varsayılmaktadır.

SOSYAL FAALİYET FAYDASI

$$= \left(\sum_{y=İLK AY}^{SONUNCU AY} AYLIK SOSYAL FAALİYETLER GETİRİSİ \right)$$

Gams kodu;

$$SOSYALF = e = (\text{sum}((A,Y),SOSYAL(A,Y))) * 1$$

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

KURU TARIM FAYDASI

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

Gams kodu;

$$KURUTF = e = (\text{sum}((Y),BEA_{\text{max}}-BEA(Y))) * 0.00168;$$

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

- Yeraltı suyu giren ve çıkan hacimler denklemleri: QYSGD(A,Y), QYSCD(A,Y)

TÜBİTAK 109Y271 nolu proje kapsamında yapılan en önemli çalışmalardan birisi de Beyşehir Gölü Havzasında yeraltısuyu akımının MODFLOW programı kullanılarak modellenmesidir. GAMS yazılımı kullanılarak hazırlanan optimizasyon modelinde MODFLOW programı ile hazırlanan model sonucu elde edilen denklemler kullanılmıştır. Bu denklemler göl su seviyesi ile yeraltı suyu giriş ve çıkışları arasındaki ilişkiden yararlanılarak oluşturulmuştur. GAMS programı, her ay için maksimum faydayı veren göl yüzey kotunu kullanılarak yer altı beslenimi ve çıkış hacim değerlerini yeraltısuyu akım modeli ile belirlenmiş olan bu denklemleri kullanarak hesaplamaktadır. Söz konusu denklemlerin elde edilişi 3.6.1 nolu başlık altında açıklanmıştır.

3.6.1 Beyşehir Gölü Havzası Yeraltısuyu Akımının MODFLOW İle Modellenmesi

MODFLOW, U.S. Geological Survey'in modüler 3-boyutlu yeraltısuyu modeli olup son yıllarda kullanımı giderek artmaktadır. MODFLOW yeraltısuyu akımı kısmi

diferansiyel denklemlerini sonlu farklar metoduyla çözen bir programdır. MODFLOW modüler yapıda olup, yeraltı suyu sisteminin her bir özelliği, ayrı bir paket olarak yazılmıştır. MODFLOW'un ilk çıktığı tarihten itibaren araştırmacılar tarafından geliştirilen yeni kodlar MODFLOW'a yeni paket olarak eklenmiştir. Orijinal paketlerden bazıları; yağış, kuyu, nehir, göl, rezervuar paketleridir. Bu paketler aslında MODFLOW içine eklenmiş kodlardır.

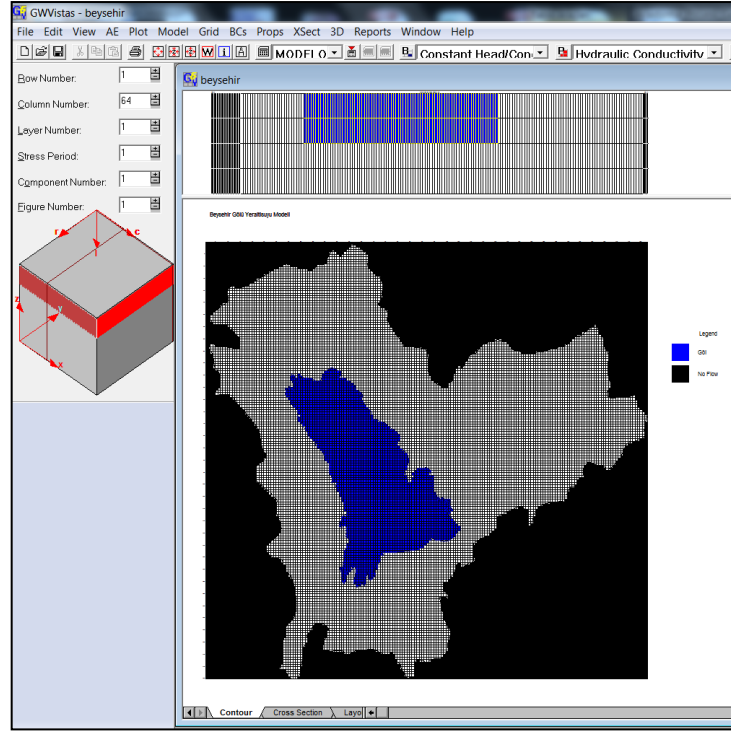
Sınır koşulları ve grid ağların oluşturulması:

Yeraltısu akım modelinde akifer sisteminin sınır koşulları Beyşehir gölü havzasının su ayırım çizgisinin yeraltısu havzası su ayırım çizgisi ile çakıştığı varsayılarak, modelin kenarlarının tamamı akım olmayan (no-flow) sınır şartı ile modellenmiştir. Modelin tam ortasında kalan Beyşehir Gölü sabit yük (constant head) sınır şartı olarak modellenmiştir. Model kararlı akım şartı ile modellenmiştir. Hidrolojik analizler sonunda kararlı akımın olduğu dönem olarak Mayıs ayı seçilmiştir ve modellemede bu döneme ait hidrolojik ve meteorolojik veriler kullanılmıştır. Model alanı içerisinde kalan sürekli akan bazı dereler nehir (river) sınır şartı ile modellenmiştir. Yeraltısu akım denklemi, modelde aktif hücre olarak tanımlanan akifer sistemi için kullanılmaktadır, aktif olmayan hücreler (no-flow olarak tanımlanan) yeraltısu akım denkleminde yer almamakta her hangi bir matematiksel işleme tabii tutulmamaktadırlar.[35]

GroundwaterVistas programı ve ArcGIS programları yardımı ile Beyşehir gölü havzasının yeraltısu akım modelinin oluşturulması sağlanmıştır. ArcGIS'ten elde edilen havza haritası GroundwaterVistas (GV)'a aktararak arazi kuzey-güney ve doğu-batı yönlerinin en uç noktaları dikkate alınarak dikdörtgen şeklinde bir çerçeveye sığdırılacak şekilde gridlere (ızgara) bölünmüştür. Model, x yönünde 91 km, y yönünde 90 km olmak üzere 8190 km²'lik alanı temsil etmektedir. Modeldeki pasif hücreler göz ardı edilerek geriye kalan aktif hücrelerden oluşan model alanı 4137.25 km²'dir. Gridlerin boyutu x ve y yönünde 500 m olup alanı 0.25 km². Böylece model 180 satır ve 182 kolondan oluşan karesel gridlere bölünmüştür. (Şekil 3.28). Modelin düşeyde kaç tabakadan oluşacağı ve bu tabakaların derinliklerinin belirlenmesi için hidrojeolojik harita ve kesitlerden yararlanılmıştır.

Yatay gridleme belirlendikten sonra, bölgenin hidrojeolojik özellikleri göz önünde bulundurularak modelin 4 katmandan oluşmasına karar verilmiştir. Böylece hazırlanan

model düşeyde farklı derinliklere sahip 4 tabakaya bölünmüştür. Model yatayda 180 x 182 adet grid, düşeyde 4 tabaka toplam 131040 adet hücre ile temsil edilmektedir. Bu model hücrelerinden pek çoğu modellenen havzanın dışında kaldığından pasif hücre olarak kodlanmıştır. Model alanının içinde kalan aktif hücre sayısı 66062 adettir (Şekil 3.28).



Şekil 3.28 Modellenen Havzadaki aktif, pasif (no-flow), ve gölü temsil eden sabit yüklü (constant-head) hücrelerin Groundwater Vistas ta görünümü.[35]

Bölgenin jeolojik yapısı göz önünde bulundurularak model 4 tabakalı olarak yapılandırılmıştır.

1.Tabaka: Beyşehir havzasını oluşturan en üst tabaka olup, tabakanın kalınlığı havzanın orta kısımlarında 70 m.'yi geçmektedir. Bu tabakanın tamamı alüvyonu temsil eden geçirimli bir birimden oluşmaktadır.

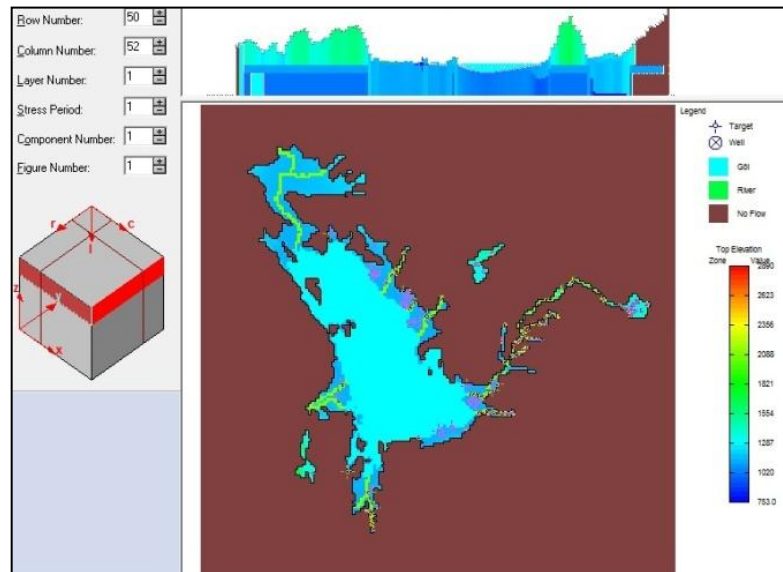
2.Tabaka: Çalışma alanında alüvyon tabakasının altında bulunan yarı geçirimli/az geçirimli olarak tarif edilebilecek kil, kumlu kil ve şistlerden oluşan bir tabakayı temsil etmektedir. Bu tabaka alüvyon zemin ile kireç taşlarından oluşan iyi geçirimli akifer arasında yarı geçirimli bir bariyer bölgeyi oluşturmaktadır. Beyşehir gölünün suyu bu

tabaka üzerinde tutulmaktadır. Beyşehir gölünün kuzey bölgesinde tabaka kalınlığı 108 m.'yi bulabilmektedir.

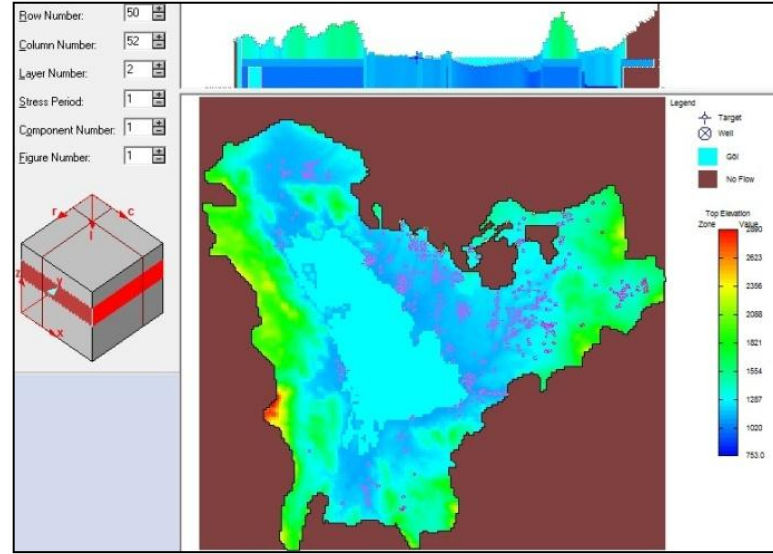
3.Tabaka: 2.tabakanın hemen altında gölün doğu kısımlarında yüzeylenen Sultandağı formasyonundan oluşan geçirimsiz bir tabaka oluşturmaktadır. 3 nolu tabakanın temsil ettiği geçirimsiz formasyonlardan oluşan Sultandağı formasyonu göl havzasının kuzey batısında yüzeye çıkmakta ve altında farklı karakterde kireç taşları uzanmaktadır. Beyşehir gölünün batı bölgesinde tabaka kalınlığı 1230 m.'yi bulabilmektedir.

4.Tabaka: Beyşehir havzasının batı tarafında kireçtaşından oluşan bir tabakadır. Bu durumda kireç taşından oluşan formasyon 4 nolu tabakayı oluşturmakta olup en altta uzanmakta ve havzanın batı kısımlarında yüzeye çıkmaktadır. Çalışma alanında bu tabaka kalınlığı 2140 m.'yi bulabilmektedir.

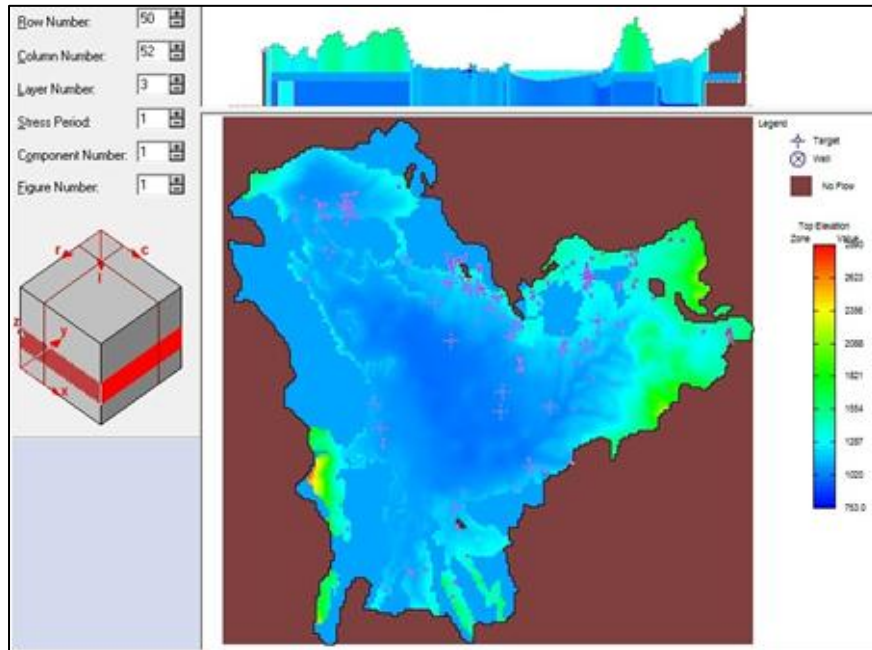
Sırası ile 1.2.3.ve 4. tabakaların Modflow ile oluşturulan modelde ki görünimleri Şekil 3.29'den-Şekil 3.32'e kadar bulunmaktadır.



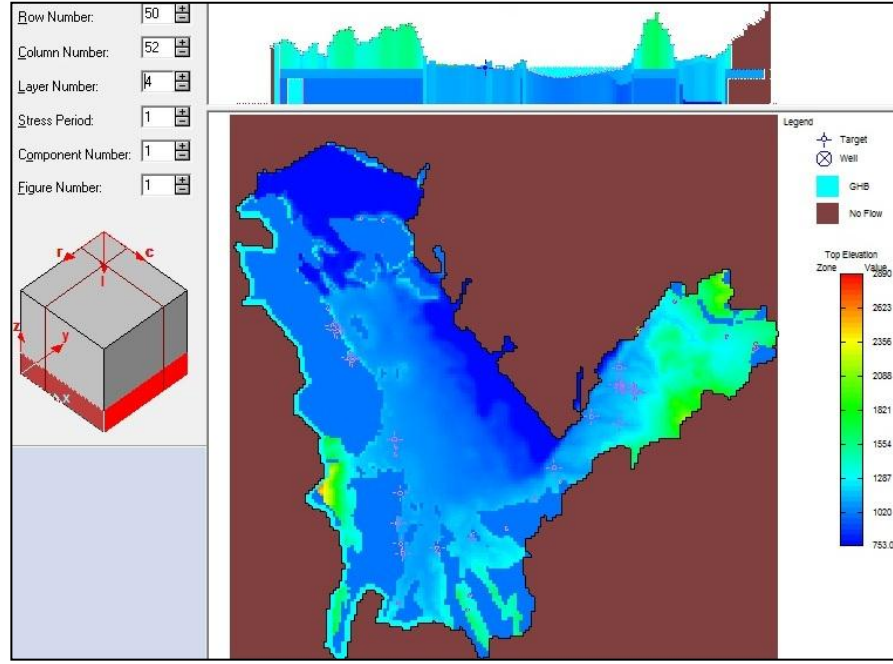
Şekil 3.29 MODFLOW Model alanındaki 1. Tabakayı gösteren harita [35]



Şekil 3.30 MODFLOW Model alanındaki 2. Tabakayı gösteren harita [35]



Şekil 3.31 MODFLOW Model alanındaki 3. Tabakayı gösteren harita [35]



Şekil 3.32 MODFLOW Model alanındaki 4. Tabakayı gösteren harita [35]

Modele ait parametrelerin tanımlanması:

Çalışma alanında 2011 yılı mayıs ayı için modelleme yapılarak, bu yıla ait model parametrelerinden faydalanılmıştır. Model parametreleri; yağış miktarı, buharlaşma değeri, işletme ve şahıs kuyularından yapılan çekim miktarları, gözlem kuyularındaki yeraltısuyu statik seviye ölçümleridir. 2011 yılı mayıs ayı için yağış, akış, buharlaşma değerleri kullanılarak akiferin beslenmesi ve boşalımı hesaplanmıştır. Modellemede zaman birimi gün, uzunluk metre olarak belirlenmiştir.

Beyşehir Havzası, açık havza özelliği taşımaktadır. Yeraltısuyu besleniminin başlıca kaynağını yağış oluşturmaktadır. Boşalım ise, Beyşehir merkezde bulunan Çarşamba Çayı, buharlaşma, işletme ve şahıs kuyularından yapılan pompaj çekimlerine bağlı olmaktadır. Çalışma alanında bulunan Sarısu Deresi, Koca Çay, Yenice Deresi, İlmen Deresi, Şarkikaraağaç Deresi, Hızar Deresi, Pınar Gözü Deresi, Huğlu Deresi, Büyük Köprü Çay, , Beyşehir Gölü'ne olan yüzeysel akımları ile yeraltısuyu akımları göl seviyesi ile yeraltısuyu seviyesi arasındaki farka bağlı olarak MODFLOW programı tarafından hesaplanmıştır [35].

Göl yüzeyi kotu yer altı suyu ilişkisi:

Modflow programı kullanılarak yapılan yer altı suyu akımı modelleme çalışması sonunda göl yüzey kotuna bağlı olarak yer altı suyu giriş ve çıkış değerlerini gösterir değerler elde edilmiştir. GAMS modeli optimum hacim değerini hesaplayarak bu hacim değerine bağlı olarak yer altı suyu giriş ve çıkış hacimlerini elde etmektedir.

Şekil 3.33’de MODFLOW modeli sonucu kullanılarak oluşturulan grafikten yararlanılarak elde edilen eğriler ile oluşturulan denklemlere ait GAMS kodları aşağıdaki gibidir;

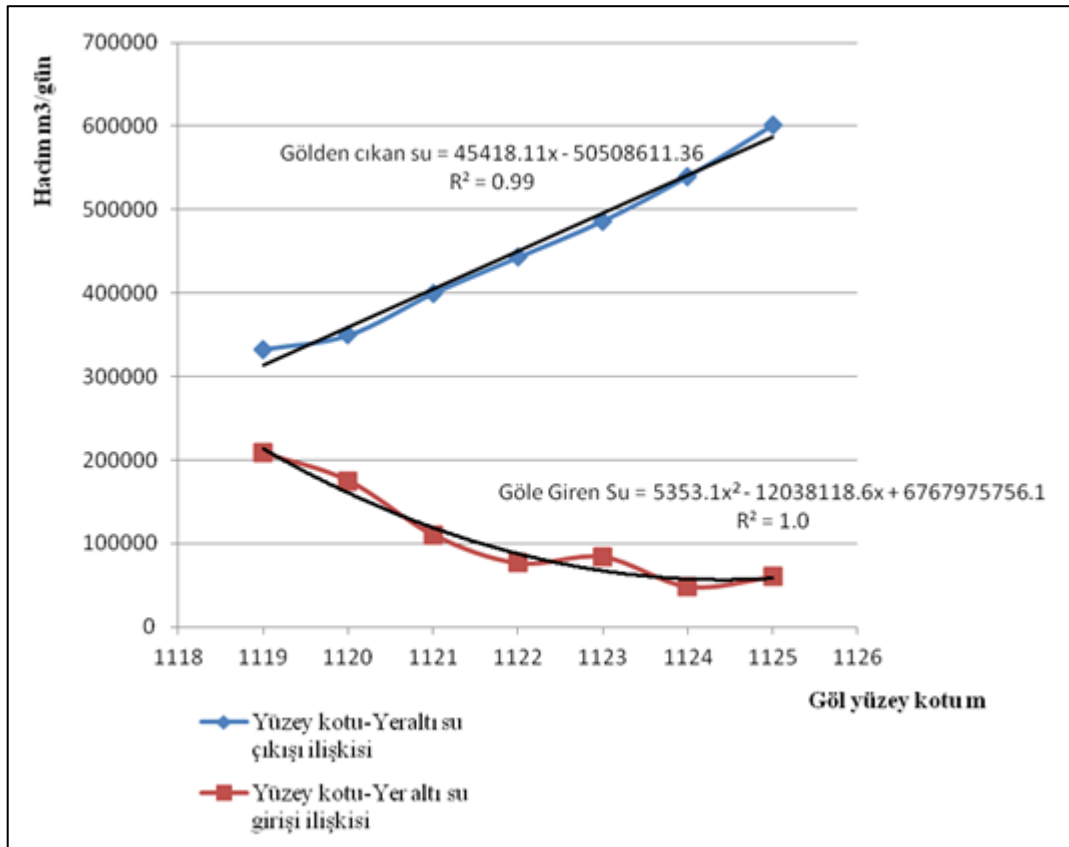
Yer altı suyu giren hacim denklemi;

$$QYSGD(A,Y).. QYSG(A,Y) =e=$$

$$(5353.1*gyk(A,Y)*gyk(A,Y)-12038118.6*gyk(A,Y)+6767975756.1)*30*0.00001$$

Yer altı suyu çıkan hacim denklemi;

$$QYSCD(A,Y)..QYSC(A,Y) =e= (45418.11*gyk(A,Y)-50508611.36)*30*0.00001$$

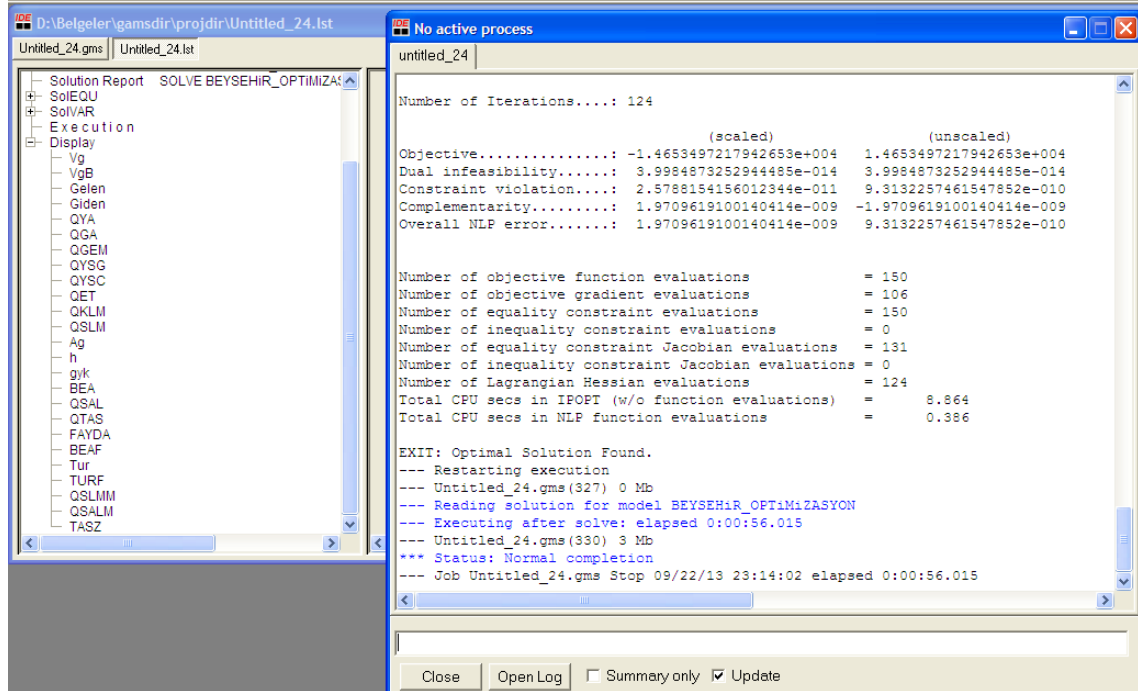


Şekil 3.33 Göl yüzey kotu-Yeraltı suyu hacim giriş-çıkış ilişkisi

MODEL SONUÇLARININ ANALİZ EDİLMESİ

4.1 Mevcut İklimsel Koşullar İle Elde Edilen Modelleme Sonuçları

Beyşehir Gölü içi hazırlanan optimizasyon modeli girdilerde yapılacak değişiklikler ile çok çeşitli senaryolar kullanılarak çözülebilir. Ekim alanı değerinin değiştirilmesi, farklı sıcaklık ve yağış miktarları değerleri kullanılması, sosyal fayda önem katsayılarının değiştirilmesi ile farklı senaryolar oluşturularak çeşitli sonuçlar elde edilmektedir. GAMS programı modelleme işlemi sonunda tüm denklemler ve kısıtları dikkate alarak fayda fonksiyonunu optimize etmiş ve değişkenlerin optimum değerlerini elde edilmiştir.(Şekil 4.1)



Şekil 4.1 Beyşehir Gölü GAMS Modelleme Sonuç Raporu

Sonuç raporunda sunulan ve optimum değerlerini elde ettiğimiz en önemli parametreler şunlardır;

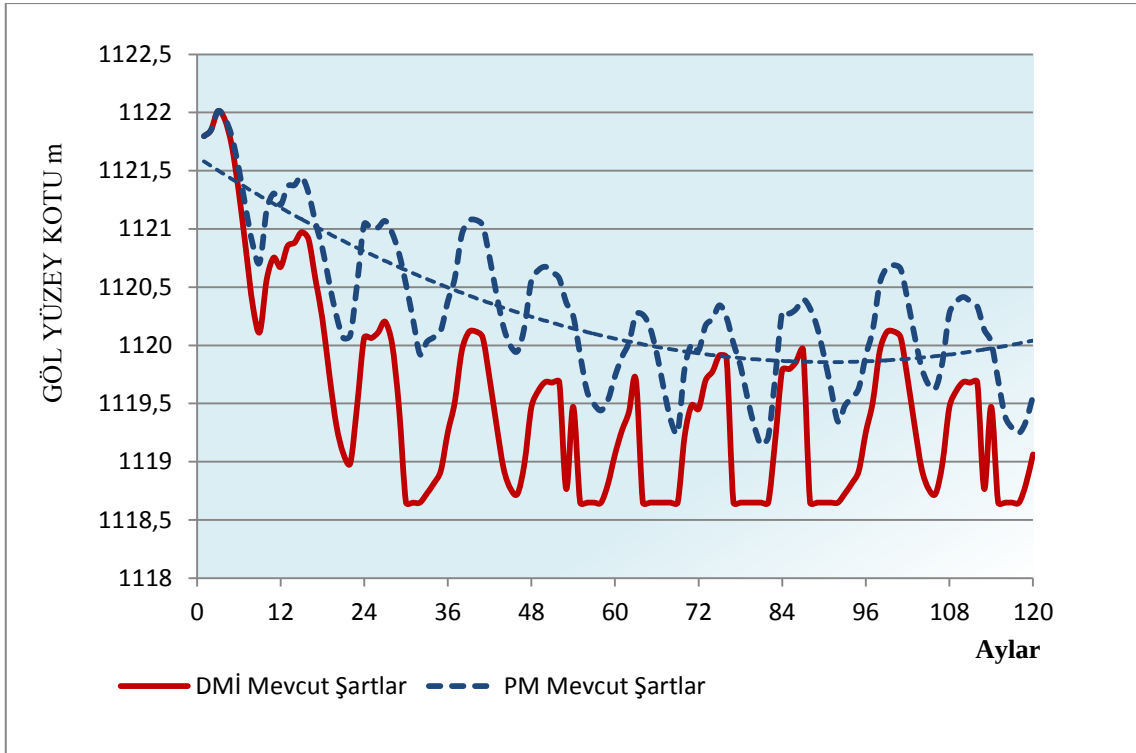
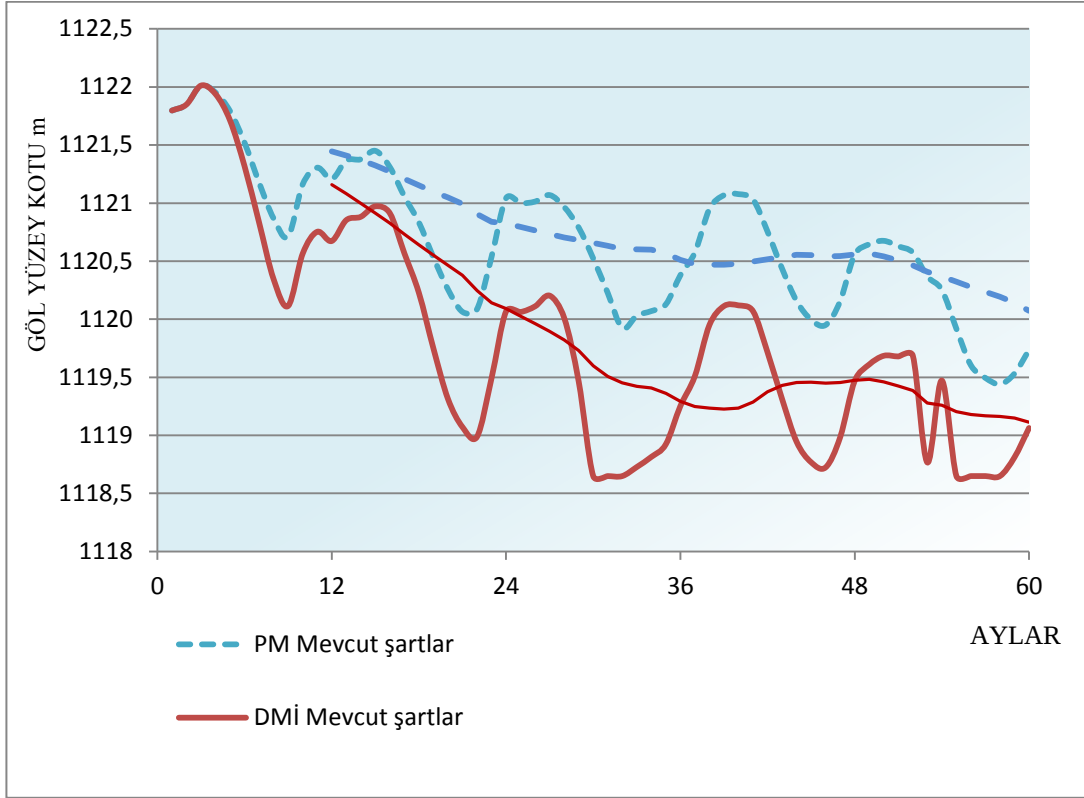
- VgB: Ortalama aylık göl hacmi (hm³)
- Ag: Ortalama aylık göl alanı
- h: Ortalama aylık göl su yüksekliği
- gyk: Ortalama aylık göl su yüzeyi kotu
- QGA: Göl alanı üzerine düşen yağış ile göle giren aylık hacim miktarı
- QGEM: Gembos Derivasyon Kanalı ile göle gelen aylık hacim miktarı
- QYSG: Yeraltı suyu ile göle giren aylık su hacim miktarı
- QYSC: Yeraltı suyu ile gölden çıkan aylık su hacmi.
- QET: Buharlaşıma ile gölden çıkan aylık hacim.
- QSLM: Sulama için kullanılan aylık hacim.
- BEA: Yıllık bitki ekim alanı
- QSAL: Olması halinde salınan aylık su hacmi
- QTAS: Olması halinde aylık taşkın hacmi
- FAYDA: İşletim sonucu elde edilen kar ya da zarar
- BEAF: Sulu tarım ile elde edilen getiri.
- SOSYALF: Sosyal faaliyetler ile elde edilen getiri.
- QSLM: Sulama maliyeti.
- KURUTF: Kuru tarım ile elde edilen getiri.

Bu modelleme çalışması hızlı çözüm elde edilebilmesi, modelleme esnasında hata olması durumunda kolaylıkla müdahale edilebilmesi amacı ile 2006-2010 yılları aralığında ki 60 aylık güncel veriler kullanılarak oluşturulmuştur. Bu vasfı ile temel bir çalışma olup modelleme zaman aralığı kullanıcı tercihinine göre uzatılma şansına sahiptir.

Bu çalışmada hesaplamalar aylık olarak yapılmıştır. Her ay için yukarıda bulunan terimlerin optimum değerleri hesaplanmıştır.

Mevcut iklimsel koşullar ile yapılan modelleme çalışmasında ilk yıl göl su seviyesi kotu 2006 yılı Ocak ayı su seviyesi kotu değeri olan 1121,74 m,göl başlangıç hacmi bu kota karşılık gelen 3016 hm³ olarak alınmış, yılsonu göl hacimleri bir sonraki yıla devrederek, sonraki yılın başlangıç hacmini oluşturmuştur. Günümüzde Beyşehir Gölü Havzası'nda sulu tarım yapılabilecek arazi maksimum 80000 hektar (hm²) civarında olduğundan maksimum bitki ekim alanı 80000 hektar, minimum bitki ekim alanı bu değer %10'u olan 8000 hektar olarak alınmıştır. Yağışlar meteoroloji istasyonundan elde edildiği gibi kullanıldığından herhangi bir katsayı ile çarpılmamış yağış katsayısı 1 olarak alınmıştır. Yüzeysel akış katsayısı hesaplamalar sonucu elde edilen değer olan 0,144 olarak seçilmiştir. Mevcut duruma uygun olarak gölde bulunan hacim ile mümkün olduğunca fazla sulama yapıldığı ve yüksek hacim ile sağlanabilecek sosyal gelirlerin tercih edilmediği kabul edilmiş bu nedenle sosyal gelirler ağırlık katsayıları 0,1 olarak alınmıştır. Böylece model kuraklık sınırı olarak kabul ettiğimiz 4,2 m kotuna inmeden,80000 hektarlık ekim alanını mümkün olduğunca sulu tarıma ayırmıştır. Buharlaşma değerleri olarak 2 veri kullanılmış olup bunlardan biri meteoroloji istasyonu tarafından hesaplanan tava buharlaşması değerleri, diğeri Penman-Monteith denklem takımları kullanılarak hesaplanan buharlaşma değerleridir.

Mevcut iklim şartları ve kullanım alışkanlıkları göz önüne alınarak ilk önce 5 yıllık (60 ay) hesaplama yapılmış, daha sonra mevcut koşulların bir 5 yıl daha devam edeceği öngörülerek hesaplama aralığı 10 yıla (120 ay) çıkarılmıştır. Modelleme sonuçları ile elde edilen göl su seviyesi kotu değişimine ait grafikler Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'de bulunmaktadır.



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

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

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

Modelleme sonuçlarına göre Beyşehir Gölü su seviyesi kotu ilk yılsonunda ani bir düşüş göstererek 1121 m seviyelerine inmektedir. Su seviyesindeki düşüş trendi ilk 5 yıllık dönemde devam etmekte ve göl su seviyesi kotu değeri 1120,5 m seviyelerinde dolamaktadır. 10 yıllık hesaplamalarda, ilk 5 yılın ardından su seviyesindeki düşüş eğiliminin azalarak, su seviyesi kotunun 1120 m seviyelerinde daha yatay bir seyir izlediği sonucuna ulaşılmaktadır.

Elde edilen modelleme sonuçlarına göre 80 000 hektar sulu tarım arazisinin tamamı sulanabilmektedir. Ancak bu durumda göl su seviyesi kotunun 10 yılsonunda 1122 m seviyelerinden 1120 m seviyelerine düşeceği öngörülmektedir.

Hesaplama yapılan tüm aylarda Gembos Derivasyon kanalı ile göle ulaşması hedeflenen aylık $10,8 \text{ hm}^3$ lük hacmin tamamına ihtiyaç duyulmuştur.

Hesaplama yapılan tüm aylarda gölden sulama ve kullanım suyu hacmi dışında, yapılabilecek salınımına ait hacim değeri 0 (sıfır) olarak hesaplanmıştır.

4.2 Farklı Senaryolar Altında Model Çıktıları

Kullanıcı tarafından alt ve üst sınırları belirlenen bitki ekim alanı miktarı (BEA), yağış değişikliği katsayısı (DEY), sosyal gelirler ağırlık katsayıları (SGAKY, SGAKK), yüzeysel akış kat sayısı (c) gibi terimler model tarafından hesaplanan optimum değerleri etkilemektedir.

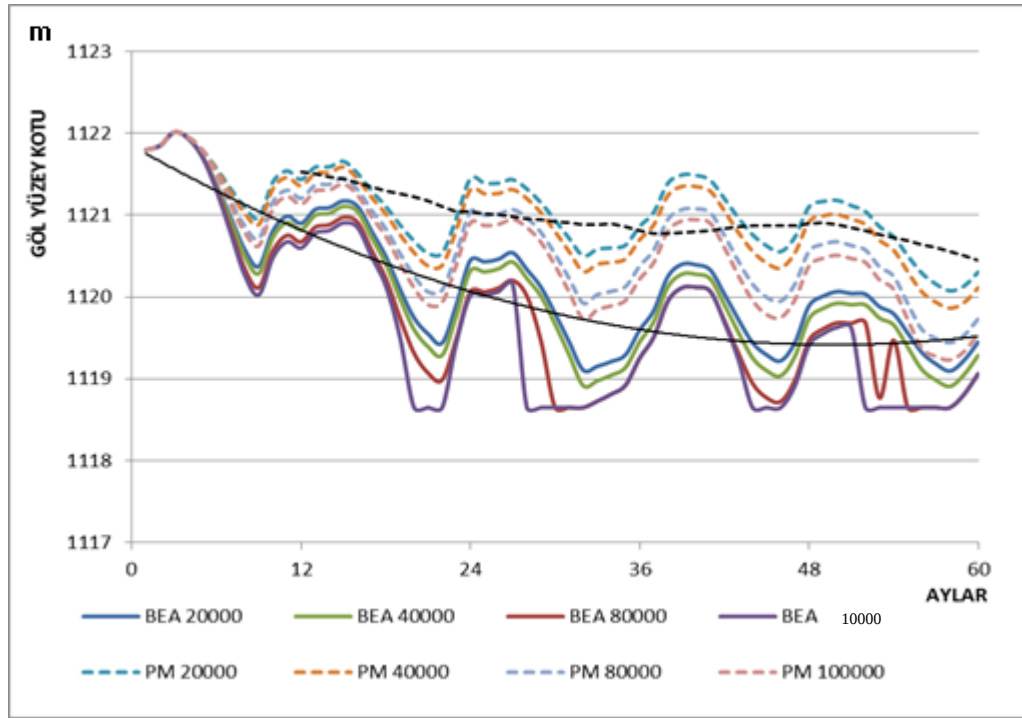
Bu değerler değiştirilerek farklı senaryolar altında farklı sonuçlara ulaşılmaktadır.

4.2.1 Farklı Sulu Tarım Alanları Olması Halinde Göl Su Seviyesindeki Değişim

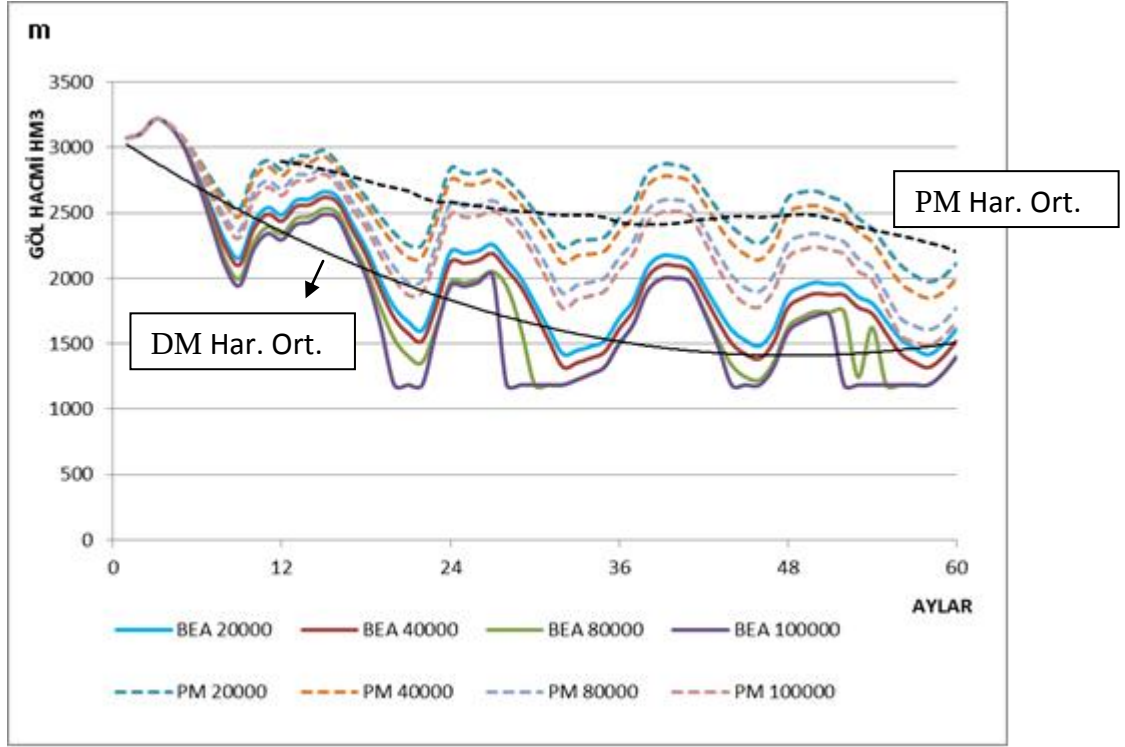
Bu çalışma ile elde edilen en önemli sonuçlardan birisi de sulanması gereken farklı ekim alanlarının olması durumunda göl su seviyesi değişim miktarının ne olacağıdır.

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

Bitki su ihtiyacı değerleri, buharlaşma miktarı ile orantılı olarak değişiklik göstermektedir. Model, ilk olarak meteoroloji istasyonu buharlaşma verilerine göre elde edilen bitki su ihtiyacı değerlerine göre, daha sonra ise Penman-Monteith denklemi ile elde edilen buharlaşma değerleri ile hesaplanan bitki su ihtiyacı değerlerine göre çalıştırılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Mevcut durumda bitki ekim alanı miktarı ortalama 80 000 ha'dır. Tüm değişkenler sabit tutularak bitki ekim alanının 20.000, 40.000, 80.000 ve 100.000 ha olarak değiştirilmesi halinde 60 ay sonunda model tarafından hesaplanan göl yüzey kotu değişimleri Şekil 4.4'de, göl hacim değerlerindeki değişimler ise Şekil 4.5'de gösterilmiştir



Şekil 4.4 Farklı bitki ekim alanlarında elde edilen modelleme sonuçlarına göre göl su yüzeyi kotu-sulanan alan ilişkisi



Şekil 4.5 Farklı bitki ekim alanlarında modelleme sonuçlarına göre göl su hacmi-sulanan alan ilişkisi

Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’de, düz çizgiler buharlaşma tavaşı ile elde edilen verilerin kullanılması ile ulaşılan sonuçları, kesikli çizgiler Penman-Monteith denklem takımı ile elde edilen verilerin kullanılması ile ulaşılan modelleme sonuçlarını ifade etmektedir.

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

Beyşehir meteoroloji istasyonu buharlaşma tavaşı verilerine göre buharlaşma miktarı, Penman-Monteith modeli ile hesaplanan buharlaşma miktarından fazla olmaktadır. Bu durum bitki su ihtiyacını ve dolayısı ile model sonucu hesaplanan optimum göl yüzeyi su kotunu değerini değiştirmektedir. Meteoroloji istasyonu verilerine göre, bitki ekim alanı 100 000 ha seçildiğinde su seviyesi minimum su yüzeyi kotu olarak kabul ettiğimiz 1118.6 m seviyesine düşmekte iken, Penman Monteith denklemi buharlaşma değerleri ile elde edilen bitki su ihtiyacı verilerine göre göl su yüzeyi kotunun en düşük değeri 1119,2 m olmaktadır.

Model sonuçlarına göre 20 000 ha - 80 000 ha bitki ekim alanı aralığında, ilk yıl su seviyesi ani olarak düşmekte daha sonraki yıllar düşüş eğilimi azalarak, göl su yüzeyi kotu yatay bir seyir izlemektedir.

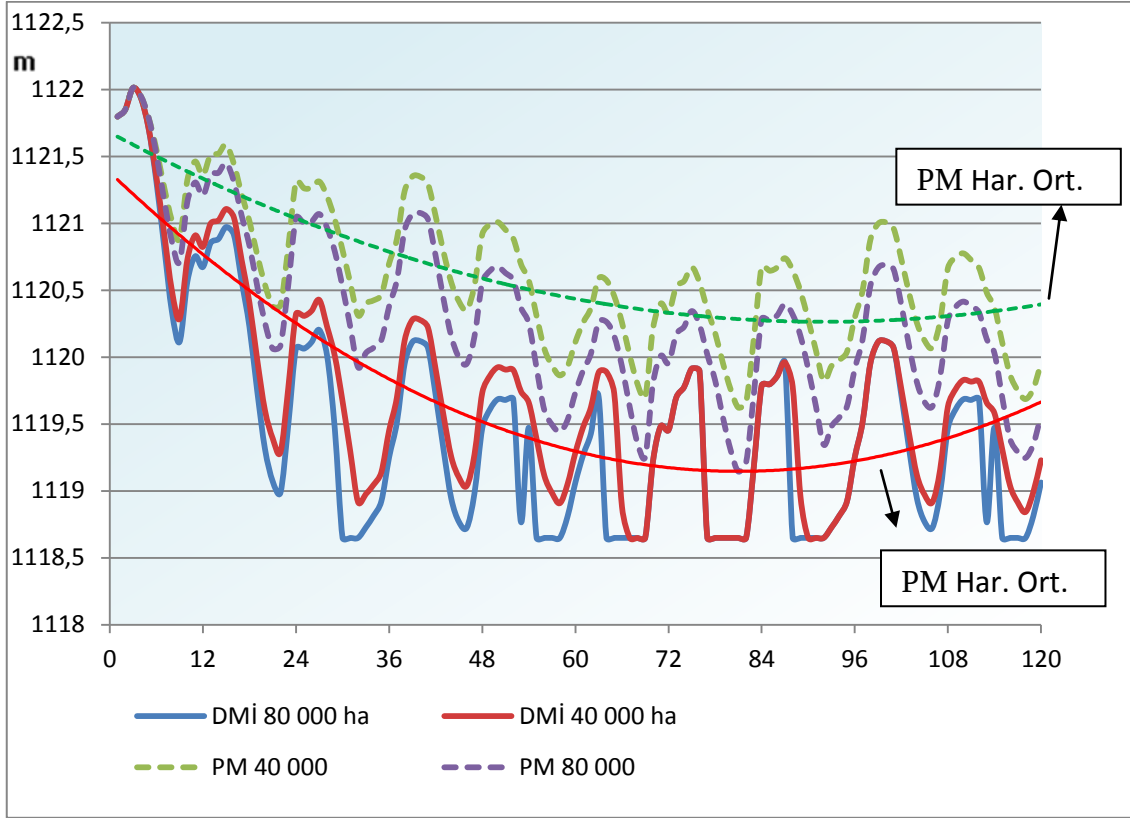
Ekim alanı değerinin 20 000 ha olduğu durumda dahi göl su seviyesi, maksimum su yüzey kotu değeri olan 1126 m'ye (5979 hm³) ulaşamamış ve ihtiyaç fazlası su salınım değerleri olan QSLM,tüm aylarda 0 (sıfır) olarak hesaplanmıştır. Tüm ekim alanı değerlerinde Gembos Derivasyon Tüneli'nden transfer olacağı varsayılan yıllık maksimum 129,6 hm³ su hacmine ihtiyaç duyulmuştur.

Meteoroloji istasyonu buharlaşma verilerine göre yapılan modelleme sonuçlarına göre minimum su seviyesi kotu olan 1118,6 m'ye ulaşılmadan sulanabilen bitki ekim alanı maksimum 100 000 ha olarak tespit edilirken, Penman-Monteith denklemine göre bu değer 160 000 ha olarak hesaplanmıştır. Meteoroloji istasyonu buharlaşma verilerine göre modelleme sonuçlarına göre bitki ekim alanının 100 000 ha'ı geçmesi durumunda göl su seviyesi bazı aylarda minimum işletme kotu değeri olan 1118,6 m'nin altına düşmekte ve kuraklık riski oluşmaktadır. Buna göre modelleme sonuçlarına göre Beyşehir Gölü kapasitesi ile 100 000 ha üstü bitki ekim alanı sulanması mümkün olmamaktadır

Sulanacak bitki ekim alanının 80 000 ha'ı geçtiği durumda,bitki ekim alanı sulanabilse de uzun vadede göl su seviyesinde azalma olacağı sonucuna ulaşılmaktadır.

5 yıllık meteorolojik şartların bir 5 yıl daha tekrarlanacağı varsayılarak modelleme süresinin 120 aya çıkarılması ile hesaplanan göl su yüzeyi kotu değişimi Şekil 4.6'da bulunmaktadır.

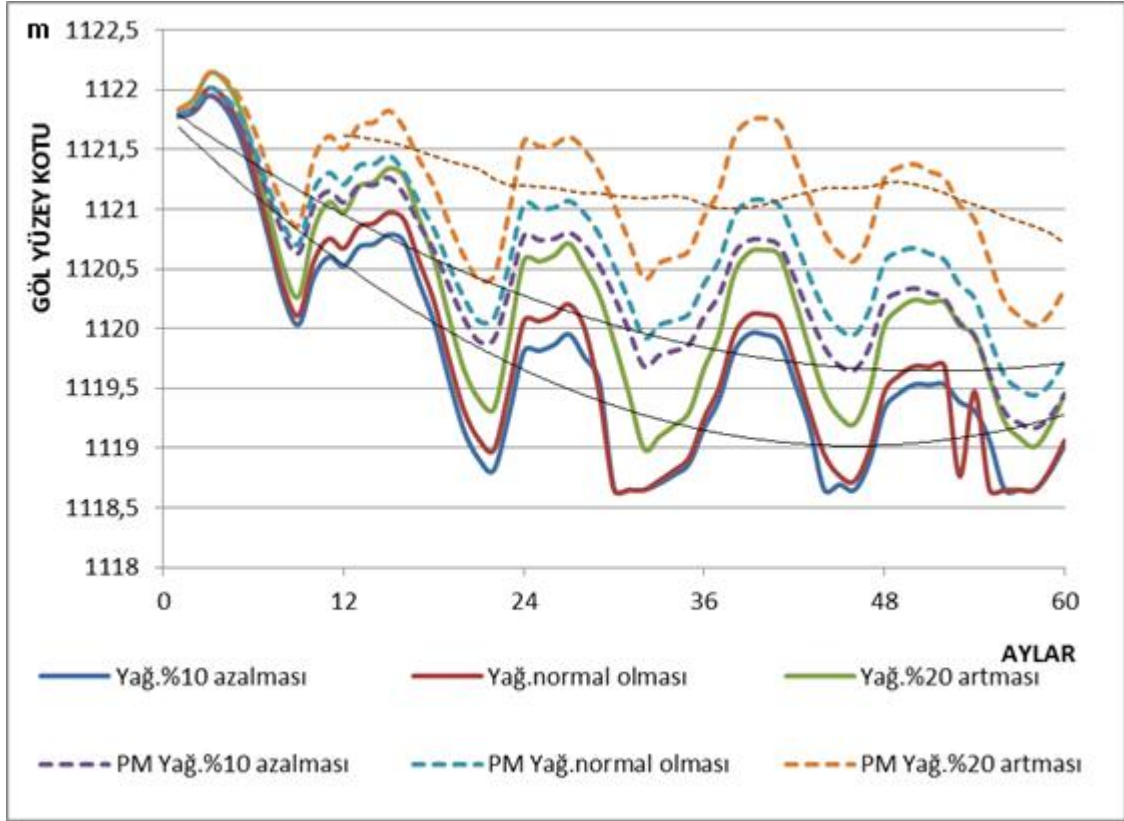
Tam verimli sulama teknikleri kullanılarak, göl su seviyesinin mevcut hali ile yüksek oranda korunabileceği maksimum ekim alanı 40 000 ha olarak öngörülmektedir



Şekil 4.6 GAMS modelleme sonuçlarına göre 2006-2010 Periyodu iklim şartlarına göre 10 yıllık süreçte Beyşehir Gölü su yüzeyi kotu ve sulanan alan arasındaki ilişki

4.2.2 Farklı Yağış Durumlarında Göl Su Seviyesindeki Değişim

Kullanıcı tarafından değiştirilebilen parametrelerden birisi de yağış miktarı katsayısıdır. Mevsim normallerinde yağış katsayısı 1 olmaktadır. Bu durumda meteoroloji istasyonu tarafından elde edilen ölçüm değerleri aynen kullanılmaktadır. Bu katsayıya farklı değerler verilerek yağışlarda yaşanan düzensizliklerde göl hacmi, göl su seviyesi kotunda ve diğer değişkenlerde oluşacak farklılıklar gözlenebilmektedir. Mevcut sulama alanının 80 000 ha olduğu göz önüne alınarak ve tüm değişkenler sabit tutularak yağışlarda yaşanacak düzensizliklerde göl su seviyesinin değişimini 60 aylık zaman göz önüne alınarak gösterir model sonuçları Şekil 4.7’te verilmiştir.



Şekil 4.7 Göl yüzey kotunun yağış miktarı değişimine karşı hassasiyeti

Sulama alanının 80 000 ha olduğu durumda yağışlarda yaşanacak düzensizliklerde, bu model kullanılarak elde edilen sonuçlar şunlardır;

Meteoroloji istasyonu buharlaşma verileri kullanılması durumunda yağışların mevsim normallerinin %20 altına düşmesi halinde göl su seviyesinde artışın durduğu, %20'den fazla düşüşlerde ise göl su seviyesinde azalma olacağı ve bazı aylarda göl su yüzeyi kotunun minimum su seviyesi kotuna (1118.6) düştüğü gözlenmiştir. Yağışların %20 azalması halinde bitki ekim alanı 80 000 ha'ın altına düşmektedir.

Meteoroloji verileri kullanılarak yapılam modellemede yağışların mevsim normallerinin %20 üstünde olması halinde dahi salınım olmadığı ve yılın her ayında Gembos Derivasyon Kanalı'ndan

Yağışların mevsim normallerinin %20 olması durumunda dahi gölden su salınımı olmadığı sonucuna ulaşılmaktadır.

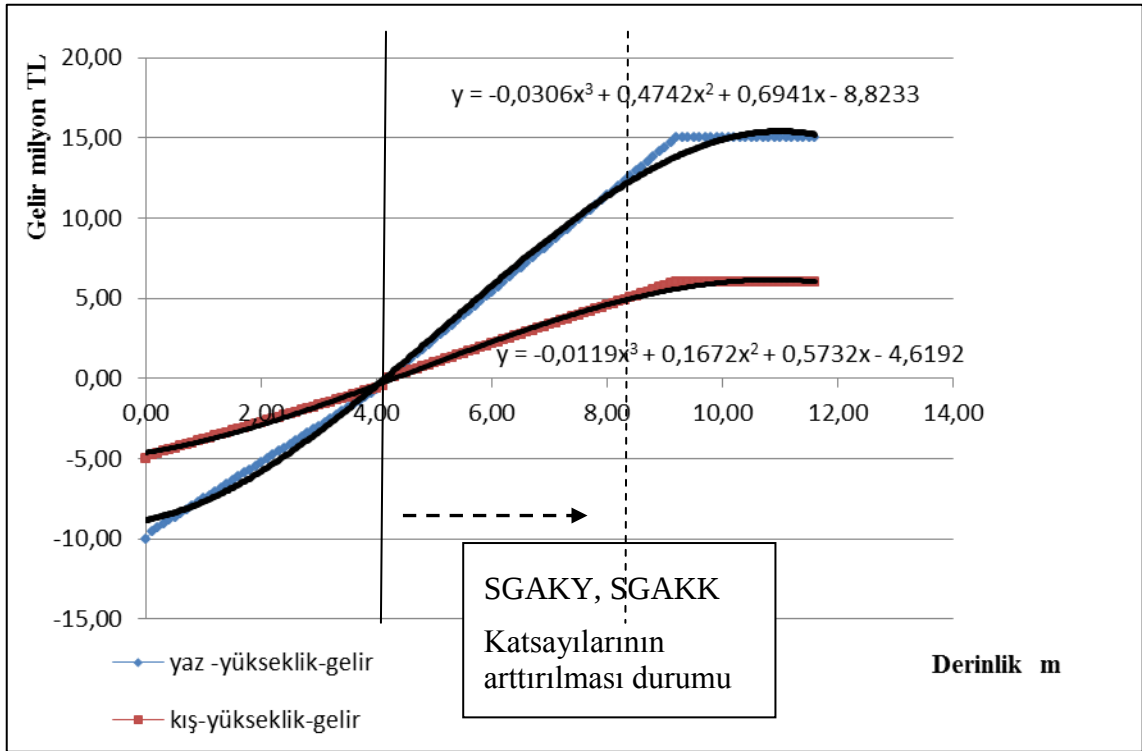
Yağışların mevsim normallerinden %20 fazla olması durumunda dahi Gembos Derivasyon Tüneli'nden transfer olacağı varsayılan yıllık maksimum 129,6 hm³ su hacmine ihtiyaç duyulmuştur.

Bitki su ihtiyacı hesaplarında Penman-monteith denklemi kullanılarak hesaplanan değerler kullanıldığında yağışların mevsim normallerinin %20 altında olması halinde dahi su seviyesi kotu minimum değerın üstünde kalmakta ve 80 000 ha olan tüm ekim alanı sulanmaktadır. Yağışların mevsim normallerinin %20 üstünde olması durumunda göl su yüzeyi kotu 1121-1121,5 m sevieleri aralığında olmaktadır. Hesaplama yapılan tüm değerlerde gölden ihtiyaç fazlası salınım yapılan su hacmi olmamıştır.

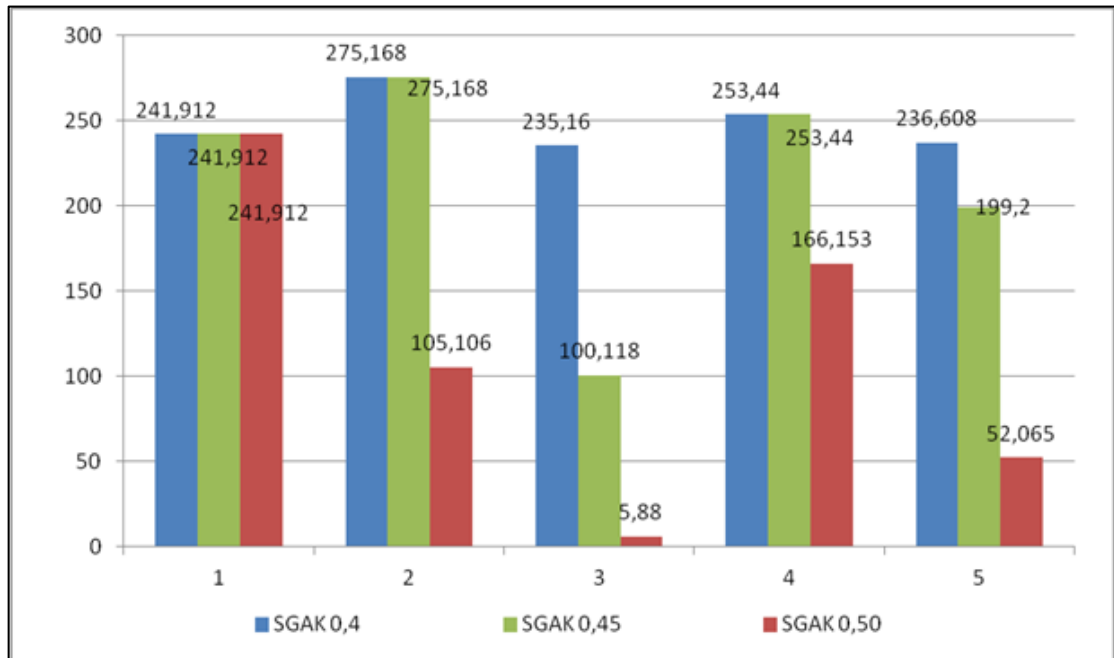
4.2.3 Farklı Tarım-turizm Ağırlık Katsayısı Durumlarında Göl Su Seviyesi Değişimi

Beyşehir Gölü'nden faydalanan ve göl işletiminde söz sahibi olan resmi ve/veya özel kurumlar arasında var olan en büyük sorunlardan biri göl minimum su kotunun hangi seviyede bulunması gerektiği konusudur. Tarım ile uğraşan vatandaşlar göl suyundan mümkün olduğunca fazla yararlanmak isterken, turizmden fayda sağlayan kurumlar ve göl seviyesinin azalması ile çevrenin olumsuz etkileneceğini değerlendiren taraflar göl su seviyesinin mümkün olduğunca yüksek kalmasını talep etmektedirler. Göl su seviyesinin düşük kotlarda kalması kuraklık riskini arttırırken, yüksek seviyelerde kalması ise taşkın olasılığını arttırmakta ve kuraklık olmadığı sürece ekonomik kazancın azalmasına neden olmaktadır.

Sosyal gelirler ağırlık katsayısı (SGAKY, SGAKK), tarım dışı gelirler ile tarım arasındaki ilişkiyi dengelemek amacı ile şekil 3.26'da grafiği bulunan denklemlerden yararlanılarak kullanılmaktadır. Bu katsayı arttırıldığında model, göl su seviyesini mümkün olduğunca yüksek tutmaya çalışmakta, gerekirse sulama hacminin azaltarak, sulama hacmini azaltmakta ve bitki ekim alanını sınırlamaktadır (Şekil 4.9). Bu katsayı azaltıldığında ise model minimum işletme kotunun altına inmeyecek şekilde mümkün olduğunca fazla miktarda bitki ekim alanı oluşturmaya çalışmaktadır.(Şekil 4.8)



Şekil 4.8 Sosyal gelirler ağırlık katsayısı değişimi ile sosyal fayda gelir miktarı arasındaki ilişkisi



Şekil 4.9 Sosyal gelir ağırlık katsayısı önemi-sulama hacmi ilişkisi

Farklı sosyal gelirler ağırlık katsayısı kullanılarak elde edilen modelleme sonuçları şunlardır;

Model çıktılarına göre Penman-monteith denklemi ile elde edilen buharlaşma sonuçları kullanıldığında, meteoroloji müdürlüğü buharlaşma verileri kullanılarak yapılan modelleme sonuçlarına göre turizm önem katsayısı taşkın hacmi olmadan daha yüksek değerlerde tutulabilmektedir.

Meteoroloji istasyonu buharlaşma verilerine göre ;

Sosyal faaliyet gelirleri ağırlık katsayısı 0- 0,4 aralığında seçildiğinde (min kot 1118,4 m'den 1118,65 m'ye yükselmektedir.) 80 000 ha olarak seçilen tüm ekim alanı sulanabilmekte ve bazı aylarda az miktarda su salınımı yapılmaktadır.

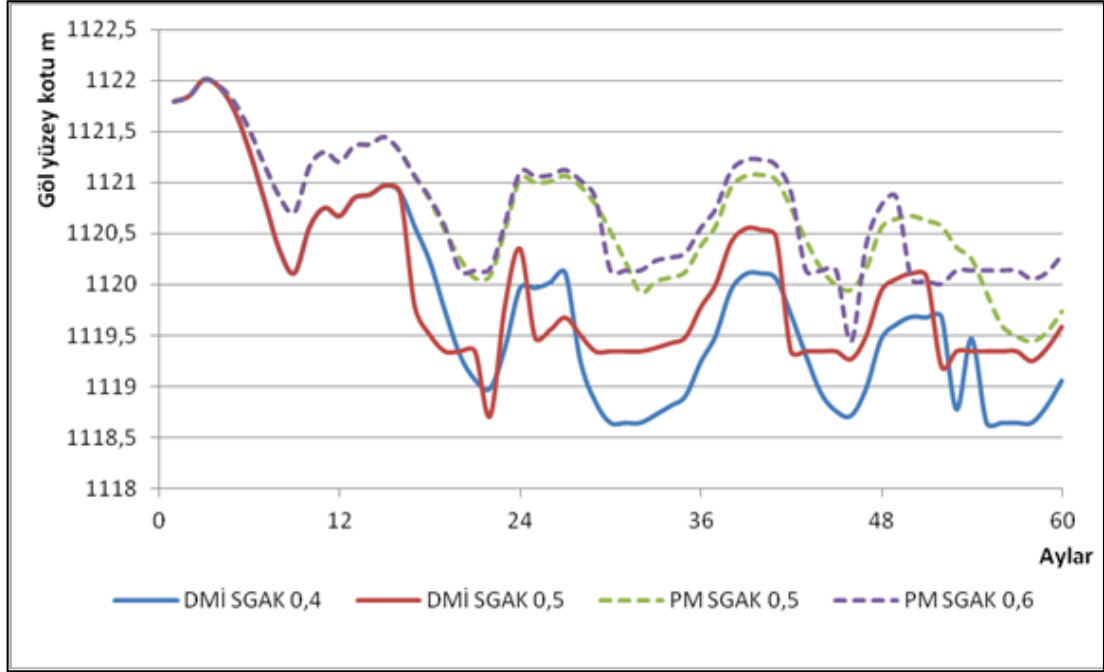
Sosyal gelirleri ağırlık katsayısı 0,4- 0,5 aralığında seçildiğinde (min kot 1118,4 m'den 1119,2 m'ye yükselmektedir.) 80 000 ha olarak seçilen bitki ekim alanı 5 yıllık dönemde %50-%70 aralığında değişen oranlarda sulanmakta ve salınan su hacmi büyük oranda artmaktadır, ayrıca taşkın olmamaktadır.

Sosyal gelirleri ağırlık katsayısı 0,6 seçildiğinde (min kot 1118,4 m'den 1119,45 m'ye yükselmektedir.) 80 000 ha olarak seçilen bitki ekim alanı büyük oranda sulanamamakta, salınan su hacmi çok fazla oranda artmakta ve bazı aylarda taşkın olacağı hesaplanmaktadır.(Şekil 4.10)

Penman-Monteith denklemi buharlaşma verilerine göre ise ;

Sosyal faaliyet gelirleri ağırlık katsayısı 0 - 0,6 aralığında seçildiğinde (min kot 1118,4 m'den 1120,14 m'ye yükselmektedir.) 80 000 ha olarak seçilen bitki ekim alanı büyük oranda sulanmakta, salınan su hacmi hesaplanmakta ve taşkın olmamaktadır. (Şekil 4.10)

Modelleme sonuçlarına göre tehlike sınırı olarak kabul edilen minimum göl su seviyesi kotu en fazla 1119-1120 aralığında tutulmalıdır. Minimum göl su seviyesi kotu 1120'den fazla tutulmak istendiğinde,80 000 ha olarak seçilen bitki ekim alanının tamamı sulanamamakta ve taşkın riski artmaktadır.



Şekil 4.10 Sosyal faaliyet gelirleri katsayısı-Göl yüzey kotu ilişkisi

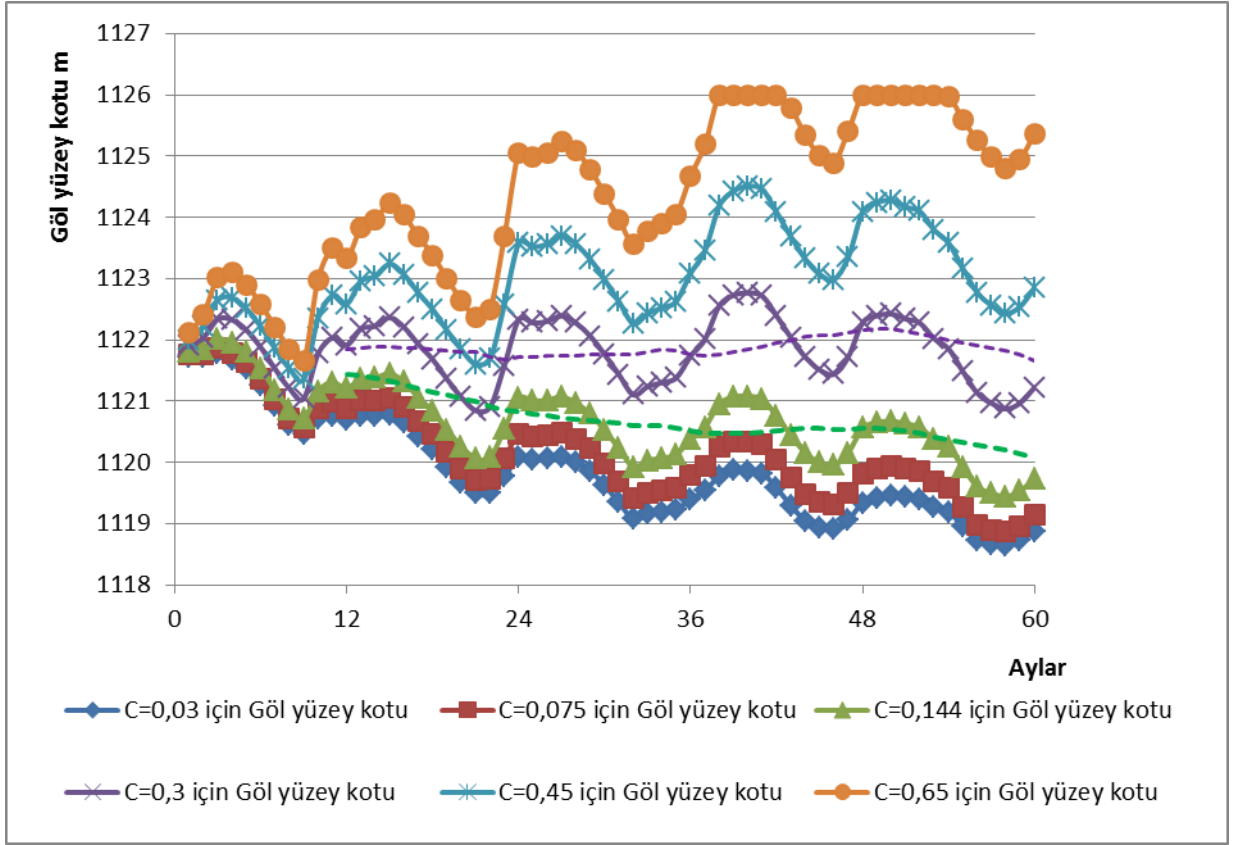
(SGAK: Sosyal gelirler ağırlık katsayısı)

4.2.4 Farklı Yüzeysel Akış Katsayıları Durumlarında Göl Su Seviyesi Değişimi

Göl su bütçesini etkileyen, göle giren su hacmini önemli oranda değiştirerek modelleme sonuçlarını etkileyen önemli katsayılardan birisinin yüzeysel akış katsayısı olduğu sonucuna ulaşılmaktadır.

Bu çalışmanın parçası olduğu TÜBİTAK 109Y271 nolu proje kapsamında, Beyşehir Gölü havzasının yüzeysel akış katsayısı 0,144 olarak tespit edilmiştir.

Tüm değerler sabit tutularak yüzeysel akış katsayısı değerlerinin 0,03-0,075-0,144-0,30-0,45-0,65 olması durumunda göl yüzeyi kotunun değişimini 60 aylık zaman diliminde gösterir model sonuçları Şekil 4.11’de verilmiştir.



Şekil 4.11 Göl yüzey kotunun yüzeysel akış kat sayısındaki (C) değişimine karşı hassasiyeti

Farklı yüzeysel akış katsayısı değerleri ile model kullanılarak elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir;

Yüzeysel akış katsayısı 0,03'e indirildiğinde 80 000 ha olarak seçilen ekim alanının tamamı ekilememekte göl su yüzeyi kotu sürekli düşüş göstermektedir.

Yüzeysel akış katsayısı değerinin 0,3'ün üstünde seçildiği durumlarda göl hacmi ilk yıldan itibaren artış göstermektedir.

Yüzeysel akış katsayısının 0,65 olarak seçilmesi halinde göl su seviyesi maksimum kot değeri olarak kabul edilen 1126 m'ye ulaşmakta ve sulama hacmi fazlası su hacmi olacağı sonucuna ulaşılmaktadır.

Yüzeysel katsayısının 0,70'de fazla seçilmesi durumunda taşkın hacmi oluşmaktadır.

Yüzeysel akış katsayısı modelleme sonuçları üzerinde en büyük etkiye sahip olan katsayı olmuştur.

4.3 Fayda Denkleminin Mantığı ve Hassasiyet Analizi

Maksimize edilen fonksiyon aşağıdaki gibidir;

$$\text{FAYDA} = \text{BEAF} + (\text{SOSYALF}) + (\text{KURUTF}) - (\text{QSLMM}) - (\text{TASZ}) - (\text{QSALM})$$

Burada ; BEAF Bitki ekim alanından elde edilen fayda, SOSYALF sosyal faaliyetler ile elde edilen getiri (fayda), QSLMM sulama için harcanan suyun yaratmış olduğu gider, TASZ taşkın olması halinde oluşacak gider(zarar), QSALM su salınması halinde oluşacak gideri, KURUTF sulu tarım yapılamayan bitki ekim alanlarından elde edilecek getiriyi (faydayı) ifade etmektedir.

Fayda ve giderler, optimizasyon sonucu elde edilen alan/hacim değeri ile birim maliyet değerlerinin çarpımı ile hesaplanmaktadır. Su birim fiyatı DSİ verilerinden, şeker pancarı ekimi ve kuru tarım olarak buğday ekimi ile hektardan elde edilen kar tutarı ise piyasa fiyatları araştırılarak, sosyal faaliyetler ile sağlanacak getiri literatür araştırması yapılarak tespit edilmişlerdir.

GAMS aşağıdaki kod ile FAYDA fonksiyonunu maksimize etmeye çalışmaktadır.

Solve BEYSEHİR_OPTİMİZASYON using NLP maximizing FAYDA;

GAMS yazılımının sahip olduğu maksimizasyon mantığına göre program, fayda sağlayacağı BEAF, SOSYALF ve KURUTF terimlerini maksimize etmek isterken; QSLMM, TASZ, QSALM terimlerini minimize etmeye çalışmaktadır. Fayda sağlanan terimler arasında ise en fazla getirisi olan bitki ekim alanından elde edilecek fayda (BEAF) değerini maksimize etmeye yönelmektedir. Ancak bitki ekim alanı arttıkça sulama için ayrılması gereken sulama hacmi artmakta bu da göl su seviyesi kotunu düşürerek SOSYALF (sosyal faaliyetler ile elde edilen gelir) terimi değerini azaltmakta, aynı zamanda QSLMM (sulama maliyeti) terimi değerinin artmasına neden olmaktadır. Bu çalışmada yukarıda açıklanmış olan mantığına göre FAYDA fonksiyonu maksimize edilerek en faydalı (optimum) değerlerin elde edilmesi amaçlanmıştır. Model bu yönü ile iktisadi sonuçlarda içermektedir.

Modelleme sonucunda fayda fonksiyonu sonuç olarak sayısal bir değer vermektedir. Bu değer, 5 yıl (60 ay) sonunda milyon TL olarak elde edilen toplam geliri ifade etmektedir.

4.3.1 Hasat Getirisindeki Değişimlerin Optimum İşletme Koşullarına Etkisi

Göl su seviyesini etkileyen en önemli çıktılardan birisi sulama hacmi miktarıdır. Ancak aynı zamanda en fazla getiri sağlayan, sulama suyu kullanılarak yapılan sulu tarım faaliyetleri olmaktadır. Beyşehir Gölü'nden sağlanan su ile sulama yapılan Çumra Havzasında büyük payı şeker pancarı bitkisi ekimi almakta en büyük karı bırakmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada sulu tarım yapılan alanlara şeker pancarı bitkisi ekildiği varsayılmış, fayda fonksiyonu kullanılarak optimum işletme koşullarının değerlendirilmesinde şeker pancarı hasat getirisi göz önüne alınmıştır. Sulu tarım yapılmayan alanlarda ise kuru tarım yapıldığı varsayılmış, kuru tarım faaliyetlerinde buğday ekildiği kabul edilmiştir.

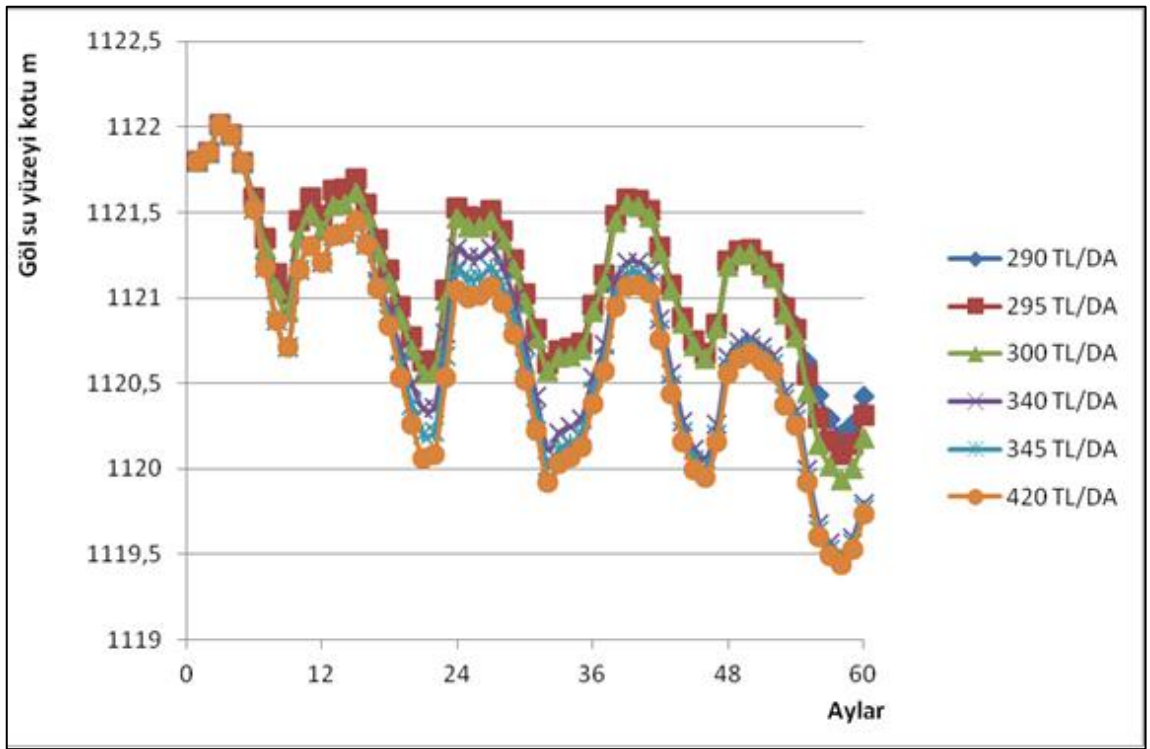
İç Anadolu Bölgesi'nde ekimi yapılan çeşitli tarım ürünleri ve 2012 yılı sonu hasat getirilerini gösterir tablo, Şekil 4.12'da bulunmaktadır.

ÜRÜN	VERİM (KG/DA)	FİYAT (TL/KG)	TOPLAM GELİR (TL/DA)	1. DEKAR MASRAFI (TL/DA)	1 DEKAR NET GELİR (TL)
BUĞDAY Taban Fiyat: 0,63 TL/kg Prim: 0,05 TL, Mazot gübre 0,02 TL/kg Destek dahil, Net fiyat: 0,70 TL/kg	450	0,70	315,0	147,0	168,0
	500	0,70	350,0	147,0	203,0
	600	0,70	420,0	147,0	273,0
	700	0,70	490,0	147,0	343,0
	800	0,70	560,0	147,0	413,0
ARPA Fiyat: 0,5 TL+ 0,05 prim= 0,60 TL/kg	400	0,60	240,0	143,0	97,0
	500	0,60	300,0	143,0	157,0
	600	0,60	360,0	143,0	217,0
YAĞLIK AYÇİÇEK Ortalama Fiyat: 1,20 TL/kg Destekleme primi = 0,24 TL/kg Mazot+gübre des.= 0,04 TL/kg Destekler dahil fiyat= 1,48 TL/kg	250	1,48	370,0	159,0	211,0
	300	1,48	444,0	159,0	285,0
	350	1,48	518,0	159,0	359,0
	400	1,48	592,0	159,0	433,0
	450	1,48	666,0	159,0	507,0
	500	1,48	740,0	159,0	581,0
DANE MISIR Ürün Fiyatı= 0,56 TL/kg Destekleme Prim 0,05 TL/kg Mazot Gübre dest.= 0,008 Net Fiyat: 0,640 TL/kg	800	0,64	512,0	240,0	272,0
	900	0,64	576,0	240,0	336,0
	1.000	0,64	640,0	240,0	400,0
	1.100	0,64	704,0	240,0	464,0
	1.200	0,64	768,0	240,0	528,0
	1.300	0,64	832,0	240,0	592,0
ŞEKER PANCARI Fiyat: 0,118 TL/kg Şeker oranı: 0,006 TL/kg Şeker oranına göre Fiyat-Karlılık artabilir veya düşebilir. Ort fiyat: 0,135 TL/kg	5.000	0,14	675,0	505,0	170,0
	6.000	0,14	810,0	515,0	295,0
	7.000	0,14	945,0	525,0	420,0
	8.000	0,14	1.080,0	535,0	545,0
	9.000	0,14	1.215,0	545,0	670,0
	10.000	0,14	1.350,0	555,0	795,0

Şekil 4.12 Sulu tarımda alternatif ürünler ve getirileri tablosu.[36]

Beyşehir Gölü kullanılarak sulama yapılan sulu tarım alanı günümüzde ortalama 80 000 hektara ulaşmaktadır. Şeker pancarı ekimi ile sağlanan net gelir tutarı dekardan sağlanan verime bağlı olarak 795TL/dekar ile 170 TL/dekar arasında değişmektedir.(Şekil 4.12)

Bu çalışma ile oluşturulan model kullanılarak dekardan elde edilecek farklı hasat gelirlerine bağlı olarak optimum işletme koşullarının ne olması gerektiği ve göl su seviyesi kotu değişimlerinin nasıl olacağı öngörülebilmektedir. Farklı şeker pancarı hasat gelirleri elde edilmesi durumunda hesaplanan faydalar Çizelge 4.1 ve göl su seviyesi değişimleri Şekil 4.13’de bulunmaktadır.



Şekil 4.13 Şekerpancarı hasat getirisi -su yüzeyi kotu arasındaki ilişki

Bu çalışmada sulu tarım ürünü olarak seçilen şeker pancarı bitkisinin verimi çeşitli koşullara göre dekarda 10 kg ile 5 kg arasında değişmektedir. Bu durum dekardan sağlanan net gelirin 795 TL ile 170 TL arasında değişmesine neden olmaktadır. Bu çalışmada normal şartlar altında şeker pancarı ekiminden sağlanan verimin dekardan 7 kg, net gelirin 7 kg verim karşılığı dekardan 420 TL olacağı kabul edilmiştir. Maksimize edilen fayda fonksiyonda sulu tarım gelirini veren BEAF teriminde bitki ekim alanı ile seçilen net gelir çarpılarak sulu tarımın işletme koşullarına etkisi sağlanmıştır.

Çizelge 4.1Şekerpancarı getirisindeki değişimin model fayda fonksiyonuna etkisi

	A	B	C	D	E	F	A+B+C-D- E-F
BEAF (Sulu tarım hasat getirisi) TL/dekar	BEAORT (Sulu tarım ortalama bitki ekim alanı) ha	SOSYALF (Milyon TL)	BEAF SULU TARIM FAYDASI (Milyon TL)	QSLMM SULAMA SUYU MALİYETİ (Milyon TL)	KURUTF KURU TARIM FAYDASI (Milyon TL)	DİĞER MALİYETLER (SALINAN SU/TAŞKIN)	NET FAYDA (5 YILLIK) (Milyon TL)
420,0	80000	248,608	1680,000	510,680	0,000	0,000	1417,927
345,0	74627,76	254,739	1287,329	468,650	45,127	0,000	1118,545
340,0	68620,48	261,588	1166,548	423,090	95,588	0,000	1100,635
300,0	24835,69	297,479	372,535	145,575	463,380	0,000	987,820
295,0	13822,31	304,341	203,879	80,943	555,893	0,000	983,169
290,0	8000	305,906	116,000	46,133	604,800	0,000	980,573

2014 Yılı itibari ile Beyşehir Gölü ile sulama yapılan tarım arazisi alanı ortalama 80 000 hektardır. Tarım yapılacak arazinin üst sınırı 80 000 hektar alt sınırının 8000 hektar olduğu göz önüne alınarak yapılan modelleme hesapları ile elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir;

Sulu tarım için dekardan elde edilen verim 6,4 kg (net gelir 345 TL) seviyesine düşürülünceye kadar tüm sulu tarım arazisinin kullanımı toplamda sağlanacak faydayı arttırmaktadır. Buna göre tüm tarım arazisinin ekilebileceği sonucuna ulaşılmaktadır.

Sulu tarım veriminin 6,4 kg/dekar'ın altına indiği (net gelirin 345 TL/dekar altına inmesi) halinde 80 000 hektar olarak seçilen bitki ekim alanının tamamının ekilmesi modelin optimum işletme koşulları dışına çıkararak faydayı azaltmaktadır. Dekardan elde edilen gelir 345 TL altına indiğinde sulu tarım alanı azalmakta, model kuru tarım (KURUTF) ve göl hacminin yüksek olması ile gelir getiren sosyal faaliyetler (SOSYALF) faydaları ile getiri sağlamaya yönelmektedir.

Model, sulu tarım ile elde edilen gelirin 290 TL/dekar seviyesine düşmesi halinde (şeker pancarı veriminin 6 kg/dekar'ın altına inmesi) sulu tarım ekim alanını minimum seviye olarak seçilen 8000 hektara indirmekte ve minimum sulu tarım arazisi dışında kalan bitki ekim alanının tamamını kuru tarım ile değerlendirmektedir.

Elde edilen sonuçlara göre şeker pancarı bitkisi seçilerek yapılan sulu tarım en büyük faydayı dekardan alınan verimin 7 kg/420 TL ve üstünde olması halinde sağlamaktadır. Bu değerlerin altında yapılacak sulu tarım faaliyetleri toplam faydanın azalmasına neden olmakta, sulu tarım yerine göl hacminin korunarak kuru tarıma geçilmesi gerektiğini göstermektedir.

Şeker pancarı getirisi arttıkça sulama için harcanan su hacmi artmakta ve göl su seviyesi kötü, şeker pancarı getirisi ile ters orantılı olarak değişmektedir. Şeker pancarı getirisi azaldıkça sulama için ayrılan hacim azalmakta bu durum göl su seviyesinin model tarafından yüksek hesaplanmasına neden olmaktadır. (Şekil 4.13)

4.3.2 Sulama Maliyetlerindeki Değişimlerin Optimum İşletme Koşullarına Etkisi

Bu modelleme çalışmasında fayda fonksiyonuna çıktı olarak etki eden(faydayı azaltan) üç parametre bulunmaktadır. Bunlar sulama suyu maliyetini veren QSLMM parametresi, sulama hacmi olması halinde ya da su salınmak istendiğinde Beyşehir ilçesinde bulunan kapaklar açılarak salınan suyun maliyetini veren QSALM ve taşkın olması halinde büyük zarar maliyetlerini temsil eden TASZ parametreleridir. Olağan üstü haller dışında TASZ terimi sıfır değerini almakta, QSALM ise nadiren değer almaktadır. Sulama suyu maliyeti (QSLMM) ise yıl içerisinde sulama yapılan aylarda değer almaktadır. Bu nedenle en önemli gider kalemini sulama suyu maliyeti (QSLMM) parametresi oluşturmaktadır.

Bu çalışmada sulama için kullanılan su birim fiyatı devlet su işleri bilgilerinden yararlanarak göl derinliğine bağlı bir değer olarak tanımlanmıştır(Şekil 3.27).Su birim maliyetlerinin şekil 3.27’de sınırlandırılan değerler olan 0,19 TL/m³ ile 0,55 TL/m³ üstünde artması ve altında azalması halinde optimum işletme koşullarının sağlanması halinde fayda fonksiyonunda oluşacak değişimlerÇizelge 4.2’de bulunmaktadır.

Çizelge 4.2 Sulama suyu maliyet değişiminin model fayda fonksiyonuna etkisi

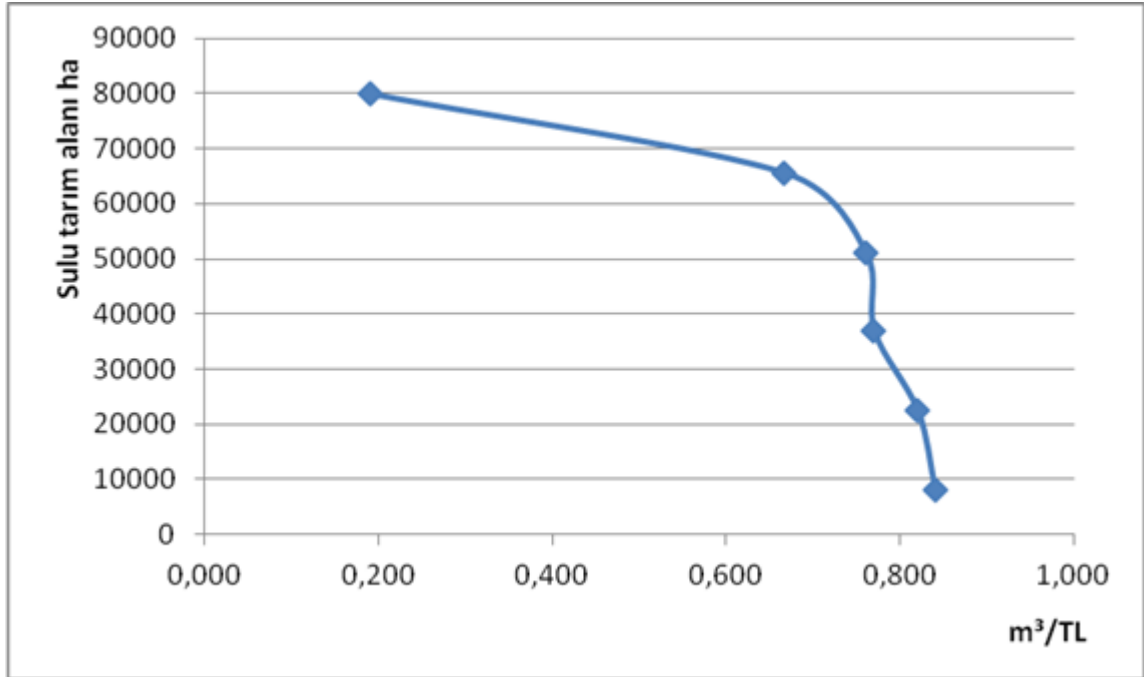
	A	B	C	D	E	F	A+B+C-D-E-F
QSLMM (Sulama suyu maliyeti) TL/m ³	BEAORT (Sulu tarım ortalama bitki ekim alanı) ha	SOSYALF (Milyon TL)	BEAF SULU TARIM FAYDASI (Milyon TL)	QSLMM SULAMA SUYU MALİYETİ (Milyon TL)	KURUTF KURU TARIM FAYDASI (Milyon TL)	DİĞER MALİYETLER (SALINAN SU/TAŞKIN)	NET FAYDA (5 YILLIK) (Milyon TL)
0,190	80000	248,608	1680,000	236,035	0,000	0,000	1692,573
0,667	65600	265,028	1377,600	663,423	120,960	0,000	1100,165
0,760	51200	274,486	1075,200	582,571	241,920	0,000	1009,035
0,770	36800	290,016	772,800	422,591	362,880	0,000	1003,105
0,820	22400	302,002	470,400	276,484	483,840	0,000	979,757
0,84	8000	305,906	168,000	104,352	604,800	0,000	974,353

Elde edilen sonuçlara göre model, hasat gelirlerindeki değişime, su maliyetlerindeki değişime oranla göre daha hassas davranmaktadır.

Sulama suyu maliyetlerinin güncel DSİ sulama suyu bedeli olan 0,19 m³/TL ile 0,667 m³/TL olduğu aralıkta 80 000 hektar olarak seçilen sulu tarım arazisinin tamamı sulu tarım için değerlendirilmiştir. Su maliyetleri yaklaşık olarak 3,51 kat arttırılmış olmasına rağmen sulu tarım ekim alanında değişme olmamıştır. Bu durum optimum işletme koşullarının sulama maliyetlerine,hasat getirileri kadar hassas olmadığını göstermektedir.

Sulama suyu maliyetleri arttırıldıkça model sulu tarımdan, kuru tarıma geçmiş, sulu tarım alanını azaltarak kuru tarım ve sosyal faaliyet faydalarını arttırmıştır.

Sulama suyu maliyetinin 0,84 m³/TL'yi geçtiği anda sulu tarım arazisi minimum değerine inmiş ve geri kalan tüm ekim alanı kuru tarım ile değerlendirilmiştir. Ancak sulama suyu maliyeti arttıkça toplam fayda değeri azalma göstermektedir. Modelleme sonuçlarına göre sulu tarım ekim alanının azalmadan sulama suyunun sahip olabileceği maksimum değer 0,666 m³/TL olmaktadır. Bu fiyatın üstünde sulu ekim arazi alanı büyük bir düşüş yaşamaktadır.(Şekil 4.14)



Şekil 4.14 Sulama suyu maliyeti ile sulama alanı arasındaki ilişki

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ SENARYOLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

5.1 2013 Yılı iklim Değişikliği Değerlendirme Raporu

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

Küresel ısınma ve iklim değişiklikleri konulu çalışmalarda, sera gazı salınımının atmosferde artması, fosil yakıt kullanımının nüfus ve sanayileşme sonucunda çoğalması nedenlerine bağlı olarak, küresel yüzey ısısının arttığı belirtilmiştir.

IPCC son değerlendirme raporunda iklim değişikliği senaryolarının değerlendirilmesinde yeni bir yaklaşım kullanmış ve bu kapsamda yeni bir emisyon/konsantrasyon senaryo seti oluşturulmuştur. Bu karar doğrultusunda, belirlenen özelliklerde 4 adet Temsili Konsantrasyon Rotası (RCP: Representative Concentration Pathways) belirlenmiştir.

RCP'ler, sera gazlarının toplam emisyon ve konsantrasyonu, arazi kullanımı ve arazi örtüsü, kimyasal olarak aktif gazlar, ve aerosoller için oluşturulan veri setleridir [37].Representative” kelimesi temsili olarak çevrilmiştir ve her RCP'nin söz konusu spesifik Radiative zorlama özelliklerini göstermesi muhtemel birçok senaryo içerisinde yalnızca birini temsil ettiğini ifade etmektedir. “Pathway” sözcüğü ise rota olarak çevrilmiş olup, sadece uzun bir periyot sonunda ulaşılacak konsantrasyon seviyesini

değil, aynı zamanda seviyeye gelinceye kadar konsantrasyonların izleyeceği rotayı da kapsamaktadır [38].

RCP tiplerinin tanımlanması için senaryo literatürü daha önce açıklanan özellikler bakımından taranmış ve Radiative zorlama seviyeleri ve rotaları için 4 RCP tipi tanımlanmıştır.(Çizelge 5.1)

Çizelge 5.1 Temsili Konsantrasyon Rotaları (RCPs)[39]

RCPs	Radyatif Zorlama	Zaman	Radyatif Zorlama Değişimi	Karbondiyoksit Eşdeğer Konsantrasyonu (ppm)	Emisyonlar (KYOTO protokolü sera gazları)
RCP 8.5	$> 8.5 \text{ W/m}^2$	2100'de	Yükselme	$\sim 1370 \text{ ppm}$ 2100'de	2100 e kadar artış devam ediyor
RCP 6.0	$\sim 6.0 \text{ W/m}^2$	2100 sonrası	Hedefi geçmeden Stabilizasyon	$\sim 850 \text{ ppm}$ 2100'de	Yüzyılın son çeyreğinde düşüş
RCP 4.5	$\sim 4.5 \text{ W/m}^2$	2100 sonrası	Hedefi geçmeden Stabilizasyon	$\sim 650 \text{ ppm}$ 2100'de	Yüzyılın ortalarından itibaren düşüş
RCP3-PD*	$\sim 3.0 \text{ W/m}^2$	2100 öncesi	3.0 W/m^2 'de zirve ve düşüş	Zirve $\sim 490 \text{ ppm}$ ve düşüş 2100'de	Yüzyılın ilk çeyreğinde düşüş

RCP3-PD düşük Radiative zorlama ve konsantrasyon rotasıdır ve literatürdeki CO₂ ve CO₂ dışındaki gazlara ait emisyon senaryolarının yalnızca %10'undan azını temsil etmektedir. Senaryonun temelini 21. yüzyıl sonlanmadan emisyonların ya da Radiative zorlamanın zirve yaparak düşüşe geçeceği varsayımı oluşturmaktadır. Düşük konsantrasyon rotası (RCP3-PD) için 2 yaklaşımdan birinin seçilmesine karar verilmiştir. İlk yaklaşım Radiative zorlamanın hızlı bir şekilde 3 W/m^2 civarına yükselmesini ve ardından 2100 yılında 2.6 W/m^2 'ye düşmesini öngörmektedir. Yaklaşımda ise benzer şekilde 2100 yılında zorlamanın 3 W/m^2 'nin bir miktar üzerine çıkarak tekrar 2.9 W/m^2 seviyesine düşmesini öngörmektedir. Bu iki senaryo öngörülerinin gerçekleşmesi ve Radiative zorlamanın azalması için önemli politik ve bilimsel çabanın gerektiğini bildirilmektedir.[40]

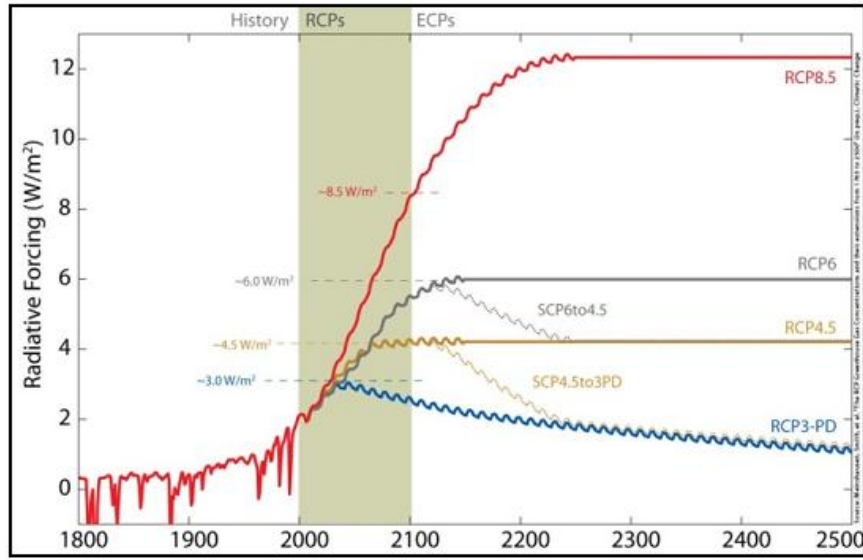
RCP4.5 senaryosu, 2100 yılında Radiative zorlamanın 4.5 W/m^2 'de bu değeri geçmeden sabitleneceğini varsayan senaryodur. GCAM (Küresel Değişim Değerlendirme Modeli) görüntülenen RCP4.5 ise bir orta stabilizasyon rotası olup 2100-2150 yılları arasında Radiative zorlamanın 4.5 W/m^2 'de sabitleneceğini varsaymaktadır. RCP4.5 senaryosu, küresel bir ekonomik çerçevede sera gazlarının uzun dönem küresel emisyonları, kısa

ömürlü gazları ve arazi değişimi/kullanımı bilgilerini içermektedir. RCP4.5 hedeflenen Radiative zorlama seviyesine maliyet azaltımı yaklaşımıyla ulaşmayı öngörmektedir.[40]

İkinci orta seviye rota RCP6'dır ve bu rotada 2100'den sonra yaklaşık 6 W/m² civarında Radiative zorlamanın sabitleneceği varsayılmaktadır.RCP8.5 yüksek Radiative zorlama öngörmektedir ve literatürdeki emisyon senaryolarının neredeyse %90'ını temsil etmektedir. RCP8.5, SRES senaryoları içerisinde A2 ve A1F1 senaryoları ile benzerlik göstermektedir.

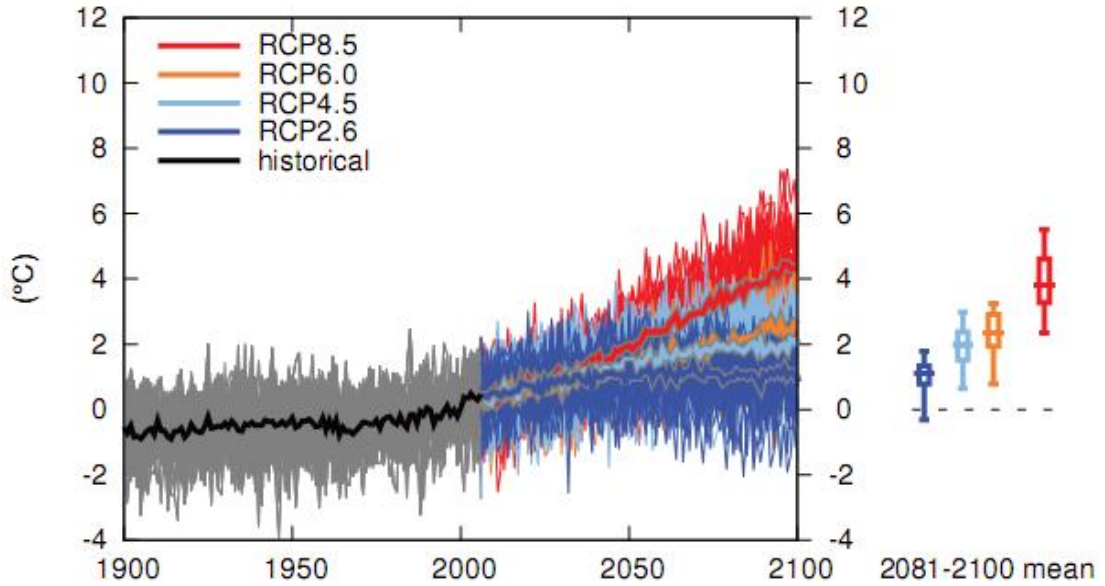
RCP8.5, yüksek popülasyon ve göreceli olarak düşük ekonomik gelir artışı, orta derecede teknolojik değişiklik, orta derecede enerji yoğunluğu gelişimi ve iklim değişikliği politikalarının geliştirilmemesi ya da uygulanmamasının neden olduğu yüksek emisyonlar ve yüksek enerji ihtiyacı gibi varsayımları kabul etmektedir. Diğer RCP senaryoları ile karşılaştırıldığında en yüksek emisyon oranına sahip senaryodur. Bu senaryo ayrıca azaltım politikalarının öngörülmediği temel bir senaryo işlevi görerek, farklı azaltım politikalarının nasıl sonuçlanabileceğine dair karşılaştırma seçenekleri oluşturulmasına imkan sağlamaktadır. RCP8.5 senaryosunda Radiative zorlama sürekli bir artış trendinde seyretmekte olup, sabitlenmesi ancak 22. yüzyılın ortalarında gerçekleşebilmektedir. Emisyonlarda buna paralel olarak 2050'lere kadar hızlı bir şekilde artarken, 2050 sonrasında artış hızı düşmektedir. [40]

RCP tiplerine ait Radiative zorlama seviyelerine ait grafik şekil 5.1'deki gibidir.

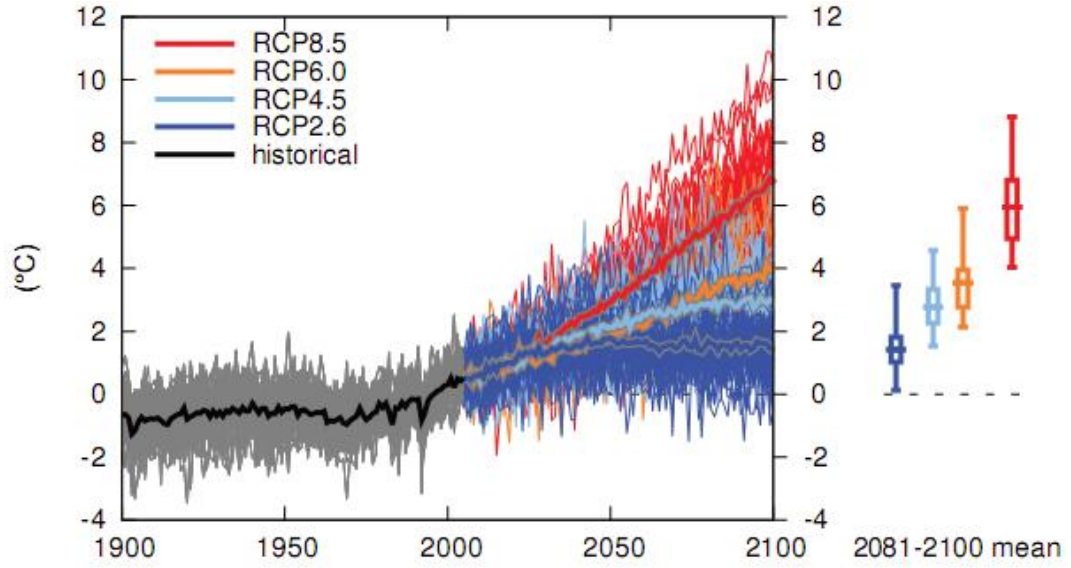


Şekil 5.1 RCP tiplerine ait toplam Radiative zorlama seviyeleri [41]

IPCC tarafından yayımlanan 5. İklim Değişiklikleri Raporu'nda yeryüzü 19 parçaya ayrılmış ve RCP tiplerine uyarlanan iklim senaryo sonuçları kullanılarak sıcaklık ve yağış projeksiyon haritaları oluşturulmuştur. Ülkemizin de içinde bulunduğu Güney Avrupa-Akdeniz Bölüme ait sıcaklık değişimi grafikleri Şekil 5.2 ile Şekil 5.3'te bulunmaktadır.

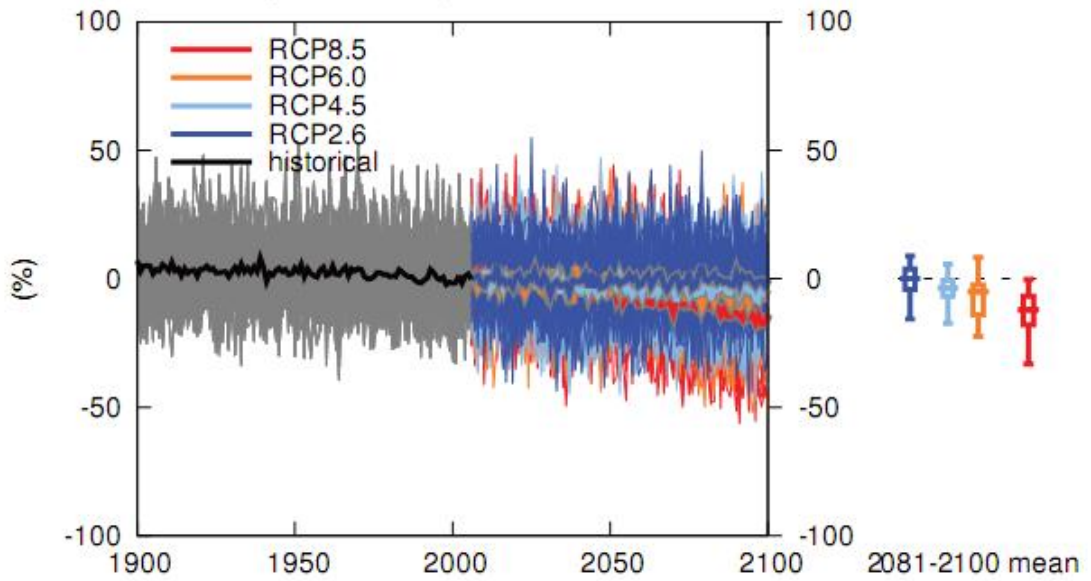


Şekil 5.2 Güney Avrupa/Akdeniz Sıcaklık Değişimleri (Aralık-Şubat Ayları arasında)[42]

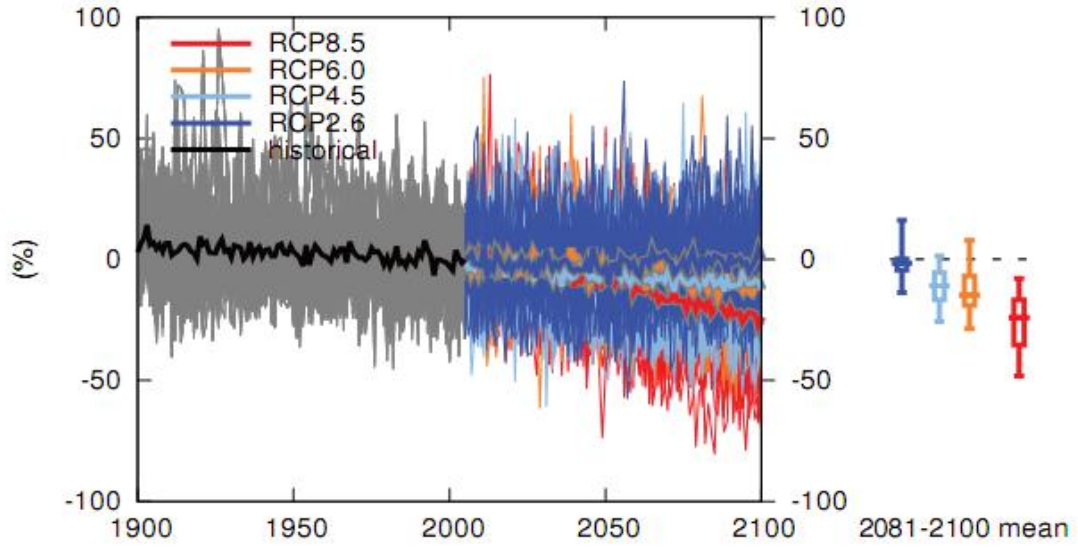


Şekil 5.3 Güney Avrupa/Akdeniz Sıcaklık Değişimleri (Haziran-Ağustos Ayları arasında) [42]

Güney Avrupa-Akdeniz Bölüme ait yağış değişimi grafikleri Şekil 5.4 ile Şekil 5.5'da bulunmaktadır.



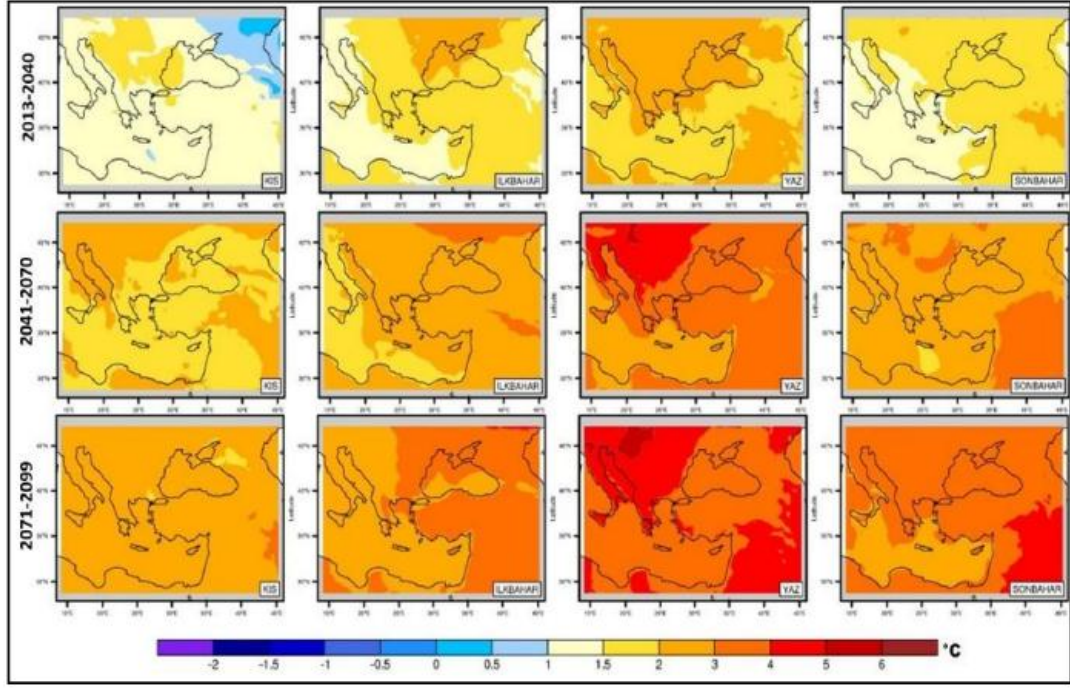
Şekil 5.4 Güney Avrupa/Akdeniz Yağış Değişimleri (Ekim-Mart Ayları arasında)[42]



Şekil 5.5 Güney Avrupa/Akdeniz Yağış Değişimleri (Nisa-Eylül Ayları arasında) [42]

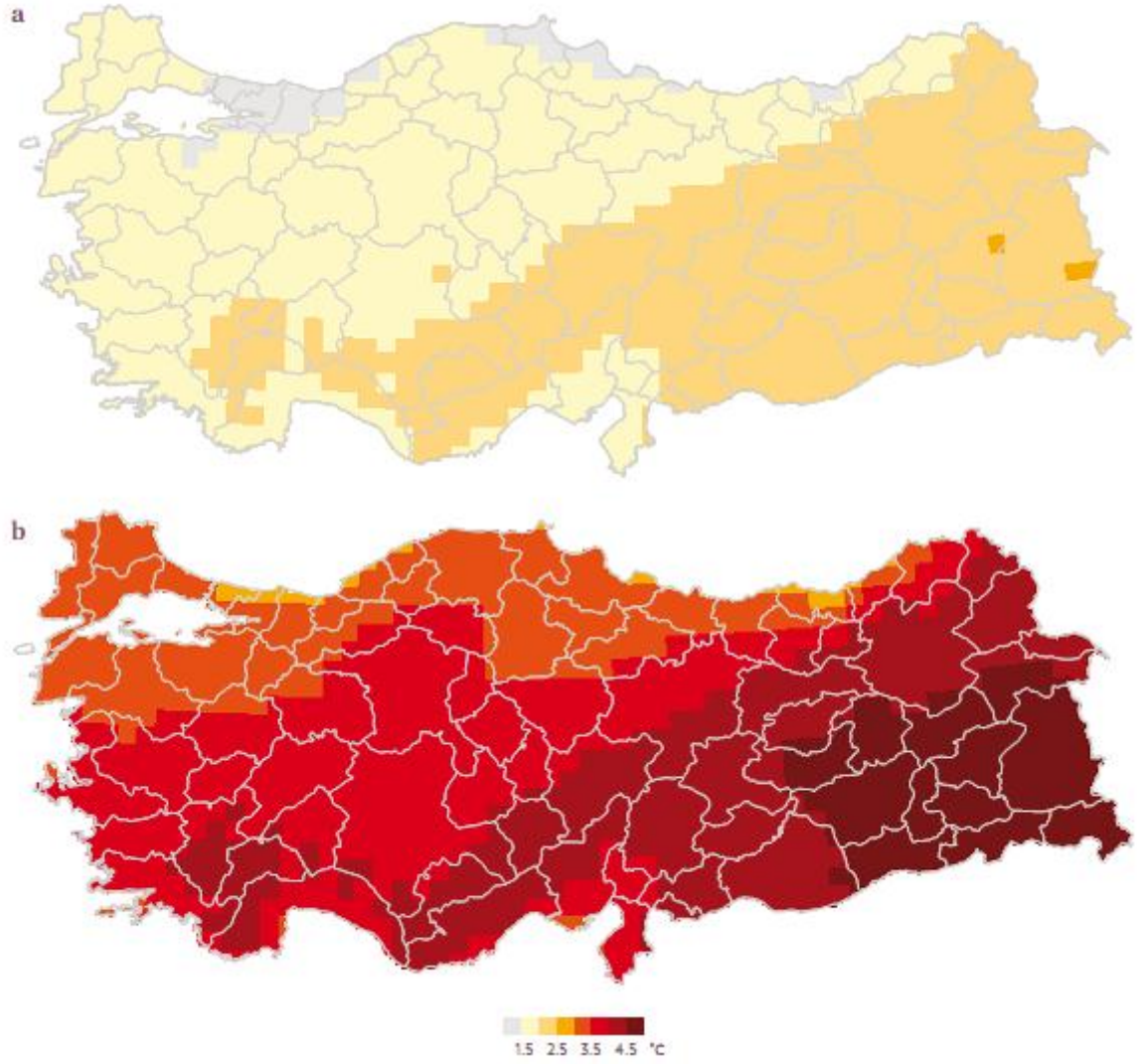
2013 yılında yapılan Türkiye İklim Değişiklikleri Kongresinde (TİKDEK) IPCC tarafından yayımlanan 5.İklim senaryosu ve 1971–2000 yılları aralığındaki sıcaklık ve yağış periyodu kullanılarak RCP 4.5 zorlama seviyesine göre Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından sıcaklık ve yağış değişikliklerini bildirir çalışmalar yapılmıştır.

Elde edilen sıcaklık fark değerleri genel olarak günümüzden yüzyılın sonuna kadar artış eğilimindedir. 2013–2040 yılları arasında özellikle yaz mevsiminde Kuzey-Batı ve Güney Doğu Bölgelerimizde 2–3 °C artış beklenirken, kış mevsiminde bu artış miktarı genel olarak 1–1,5 °C’dir. 2041–2070 periyodunda ise sıcaklıkların bir önceki periyoda göre tüm mevsimlerde ortalama 1 °C artacağı öngörülmektedir. Yaz mevsiminde sıcaklık artışı 2–3 °C iken, kış mevsiminde Doğu bölgelerimizde 2–3 °C, ülkemizin diğer bölgelerinde ise 1,5–2 °C’dir. Yüzyılın sonuna doğru sıcaklıkların kış mevsiminde 2–3 °C, ilkbahar mevsiminde Çanakkale, İstanbul ve Batı Karadeniz kıyılarında 2–3 °C diğer bölgelerde 3–4 °C, yaz mevsiminde Güney Doğu Anadolu bölgesi ve kıyı Ege bölgelerinde 4–5 °C diğer bölgelerimizde 3–4 °C, sonbahar mevsiminde Güney Doğu Anadolu bölgemizde 4–5 °C, diğer bölgelerimizde 3–4 °C artması beklenmektedir. Genel olarak özellikle yaz ve sonbahar mevsiminde Güney Doğu Anadolu bölgemizin sıcaklık artışına karşı hassas bir bölge olduğu göze çarpmaktadır.(Şekil 5.6) [43].



Şekil 5.6 Tüm mevsimler için 1971–2000 periyoduna göre 2013–2040, 2041–2070 ve 2071–2099 periyotlarının sıcaklık fark haritası.[43]

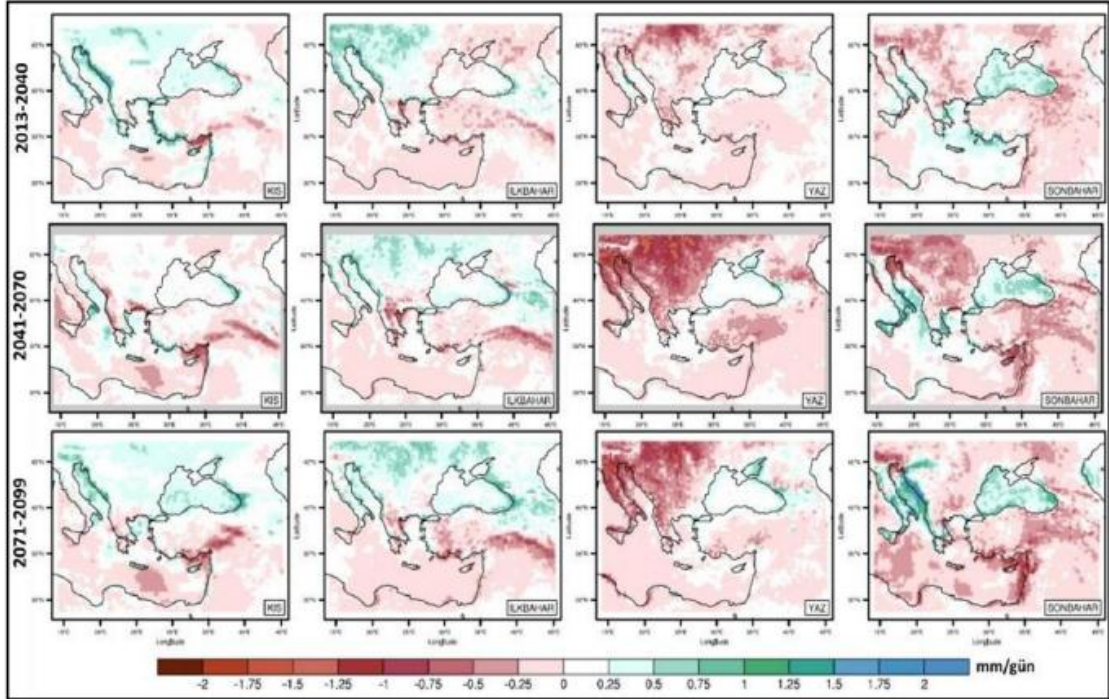
İPCC tarafından yayımlanan 5. iklim değişikliği raporu ile elde edilen sıcaklık ve yağış değişimleri bir önceki rapor ile elde edilen sonuçları doğrular niteliktedir. Türkiye için 4. İklim değişikliği raporu sonuçları göz önüne alınarak hazırlanan sıcaklık ve yağış projeksiyonlarını gösterir harita Şekil 5.7 ve Şekil 5.9 'da bulunmaktadır.



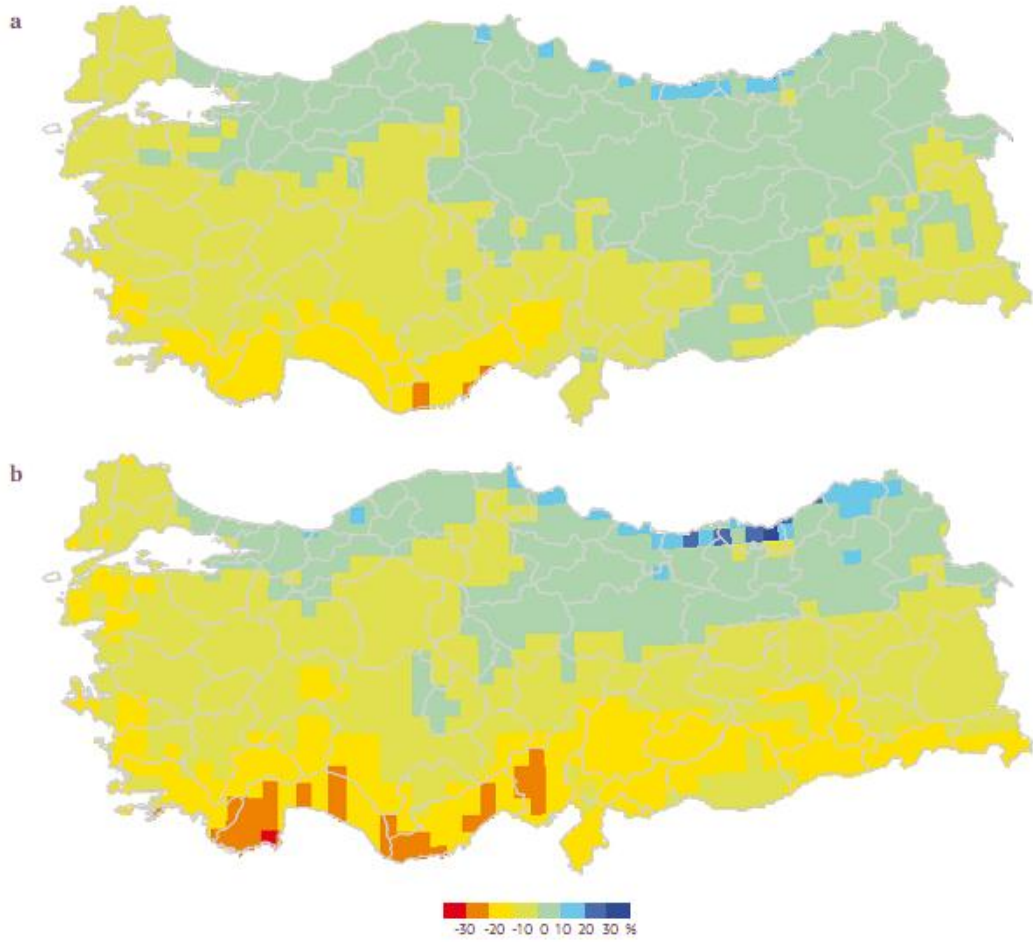
Şekil 5.7 1961–1990 periyoduna göre sıcaklık değişimleri projeksiyonları (a) 2041–2070 Yılları arası,(b) 2071–2099 yılları arası [44]

Yağış değerlendirmelerinde ise,2013-2040 yılları arasında kış ve sonbahar mevsiminde özellikle Kıyı Ege ve Batı Akdeniz bölgelerimizde günlük 1-1.25 mm civarında yağış artışları, İç ve Doğu bölgelerimizde ise günlük 0.75-1 mm'ye varan yağış azalışları beklenmektedir. 2041–2070 yılları arasında Güney ve Güney Doğu bölgelerimizde günlük 0.5-1.25 mm yağış azalışları öne çıkmaktadır. Bununla beraber tüm mevsimlerde Ülkemizin kuzeyinde günlük 0.25-1mm yağış artışları beklenmektedir. Yüzyılın sonunda bir önceki döneme paralel olarak Güney bölgelerimizde yağışlarda günlük 1-1.25 mm civarında azalma göze çarpmaktadır. Ülkemizin Kuzeyinde, bu dönemde 0.25–1 mm civarında özellikle Doğu Karadeniz bölgesinde 0.25–1 mm civarında yağış artışları, İç ve doğu bölgelerimizde ise 0.25-1 mm civarında yağış azalışları beklenmektedir. Genel olarak kış ve sonbahar mevsiminde Doğu

Akdeniz’de günlük 1.25 mm’ye varan yağış azalışları, kış ve ilkbahar mevsiminde ise Doğu Karadeniz’de günlük 1.25 mm’ye civarında yağış artışları ön görülmektedir.(Şekil 5.8).[43]



Şekil 5.8 Tüm mevsimler için 1971–2000 periyoduna göre 2013–2040, 2041–2070 ve 2071–2099 periyotlarının yağış fark haritası.[43]



Şekil 5.9 1961–1990 periyoduna göre yağış değişimleri projeksiyonları (a) 2041–2070 Yılları arası,(b) 2071–2099 yılları arası[44]

5.2 İklimsel Projeksiyonların Model Sonuçlarına Etkisi

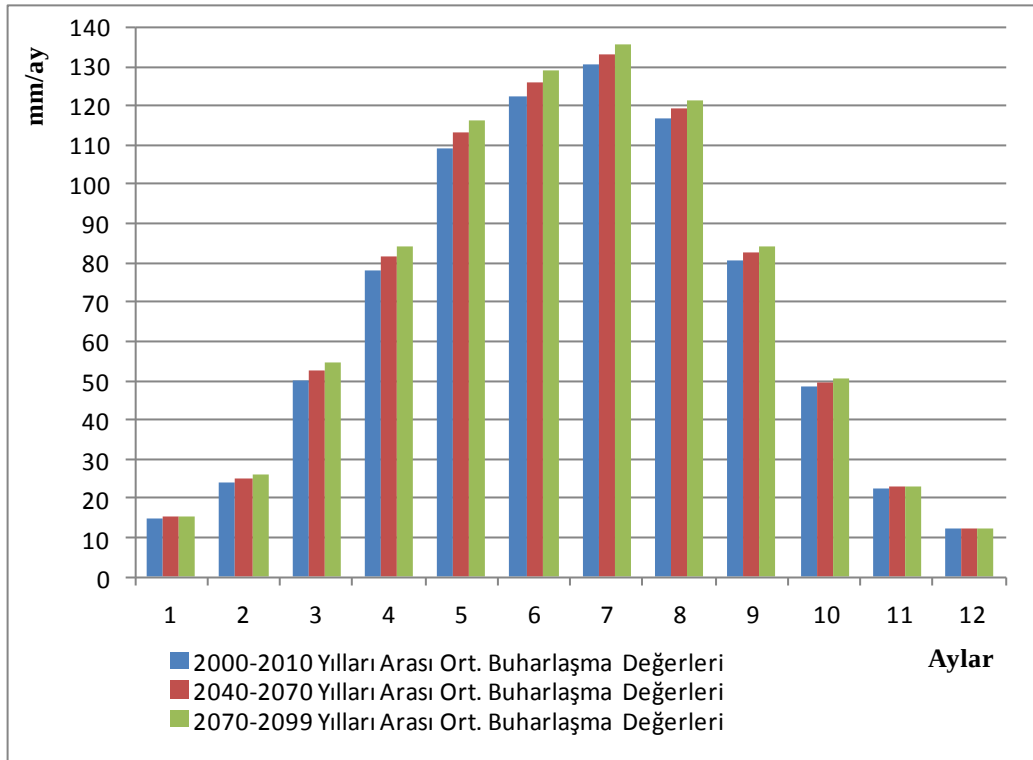
Bu bölümde Beyşehir Gölü optimum işletme koşullarının, IPCC tarafından yayımlanan 5.iklim değerlendirme raporuna göre nasıl değişeceği irdelenmiştir.

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

Ortalama sıcaklık değerlerinde oluşacak artış, buharlaşma miktarını ve dolayısı ile bitki su ihtiyacını arttırmaktadır. Göl bütçesinde oluşacak bu açığı kapatması gereken ve göl

su bütçesine en büyük girdi olarak kabul edilen yağışların da azalması ile Beyşehir Gölü işletme koşullarında büyük değişiklikler olması ve sulu tarım yapılabilecek alanda büyük düşüşler olacağı öngörülmektedir. Buharlaşma miktarındaki artışı gösterir grafik Şekil 5.10'da bulunmaktadır.

Bu çalışmada öncelikle sıcaklık projeksiyonları ile öngörülen verilerden faydalanarak Penman -Monteith denklem takımı ile günlük ve aylık buharlaşma değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan buharlaşma değerleri ve Blaney-Criddle denklem takımı kullanılarak bitki su ihtiyaçları belirlenmiştir. Yeni buharlaşma değerleri, yağış değerleri ve bitki su ihtiyacı değerleri GAMS ile oluşturulan modele aktararak model çalıştırılmıştır. Böylece olası iklim değişiklikleri durumunda elde edilen sonuçlar ile günümüz iklimsel değerleri ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

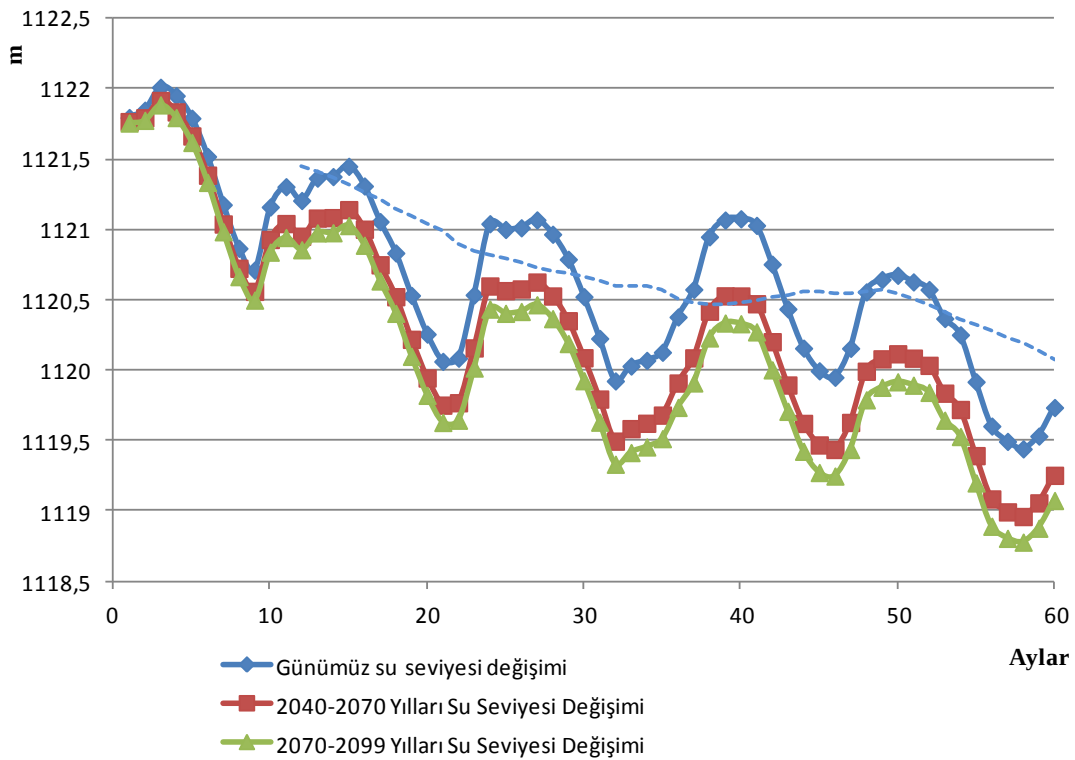


Şekil 5.10 1961–1990 periyoduna göre Beyşehir Gölü Havzası’nda Penman-Monteith Denklem Takımı ile hesaplanan buharlaşma değişimleri projeksiyonları

5.3 İklim değışikliğı senaryolarına göre göl su seviyesi değışimleri

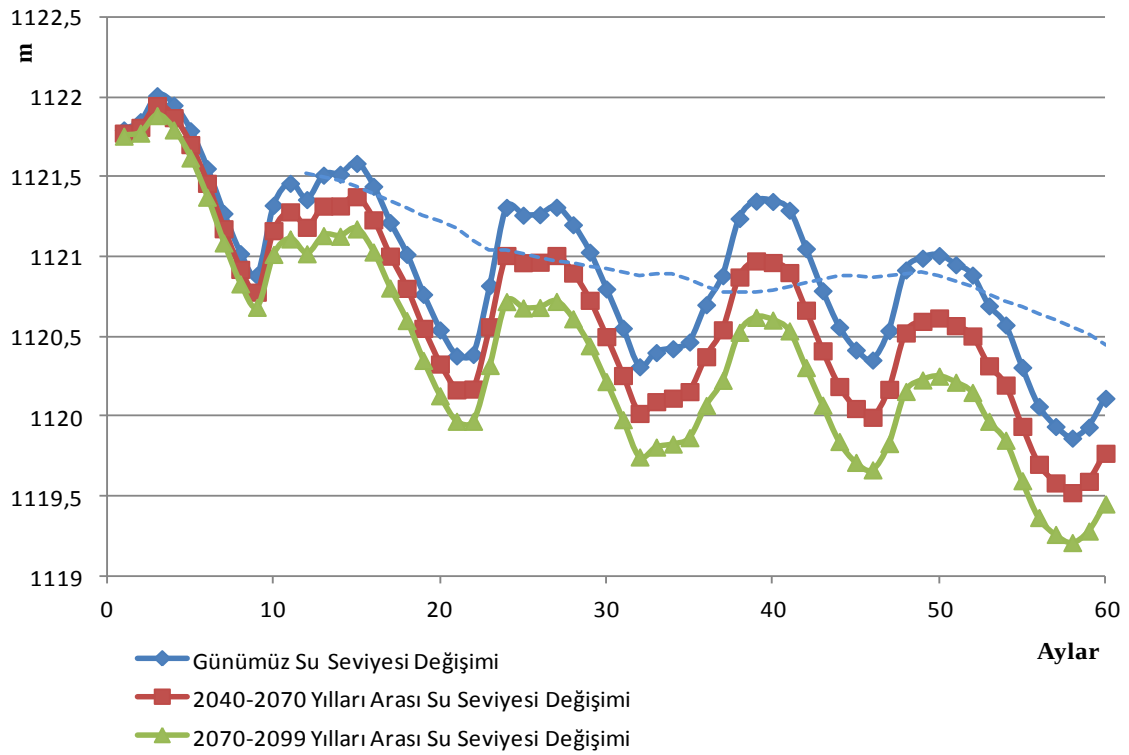
Bu çalışma ile hazırlanmış olan model ile su bütçesini etkileyen hacimsel değlerlerden (yüzeysel akışa geçen hacim,yer altı suyu ile göle ulaşan ve çıkan hacim,buharlaşıma hacmi,sulama hacmi vb...),göl su seviyesine,sulu ekim yapılabilecek alan değışimlerine kadar çeşitli sonuçlar elde edilmektedir.Bu sonuçların en önemlilerinden biri böl su seviyesi değışimleridir.

Bu bölümde iklim değışikliğı senaryoları verilerinden yola çıkarak ve oluşturulan model kullanılarak göl su seviyesindeki değışimleri tespit edilmiştir. Günümüzde sulu tarım yapılan alan yaklaşık 80 000 hektar olup bu sulama alanı ile yapılan hesaplamalarda bile göl su seviyesinde düşüş olacağı sonucuna ulaşılmaktadır. Günümüz verilerine göre sulu tarım alanının 40 000 hektar sınırlarına yaklaşması halinde göl su seviyesi yatay bir seyir izlemektedir. İklim değışikliğı senaryolarına göre her iki durumda göl su seviyesindeki değışimine ait model çıktıları Şekil 5.11 ve Şekil 5.12’de bulunmaktadır.



Şekil 5.11 1961–1990 periyoduna göre 80 000 hektar alanda sulu tarım yapılması durumunda Beyşehir Gölü su yüzey kotu değışimi

Model sonuçlarına göre, sulu tarım yapılan 80 000 hektar tarım arazisinin mevcut durumunu koruması halinde ve mevcut iklimsel şartlar altında Beyşehir Gölü su yüzeyi kotu 1121,5 m seviyelerinden 1120,5-1119,5 m seviyelerine kadar düşüş gösterecektir. Yüzyıl ortalarında ve son çeyreğin başında (2040-2070) göl su seviyesi daha da düşerek 1120,5-1119,5 m seviyelerine inecektir. Sulu tarım arazisi alanının değişmemesi ve sulama suyu çekimine devam edilmesi halinde yüzyılın son çeyreğinde (2070-2099) göl su seviyesi 1120- 1119,5 m seviyelerine düşecektir. Göl su seviyesi, her durumda maksimum göl su seviyesi kotu olan 1126 m’ den çok daha aşağıda kalmakta ve maksimum doluluk seviyesi ile olan farkın her geçen yıl artacağı ön görülmektedir. Modelleme sonuçlarına göre 80 000 hektar sulu tarım alanının mevcut şartlar ile sulanmasına devam edilmesi halinde ,yüzyılın son çeyreğinde göl su seviyesi kotu bazı aylarda ,altına inilmesi halinde gölde kuraklık olacağı kabul edilen minimum işletme kotu olan 1118,4 m seviyesine düşmektedir.



Şekil 5.12 1961–1990 periyoduna göre 40 000 hektar alanda sulu tarım yapılması durumunda Beyşehir Gölü su yüzey kotu değişimi

Beyşehir Gölü ile sulaması yapılan sulu tarım arazisinin 40 000 hektara düşürülmesi halinde, göl su seviyesi kotu daha yatay bir seyir izlemektedir. Günümüz koşulları ile 40000 hektar sulu tarım arazisinin sulanması halinde göl su seviyesi kotu 1120,5-1121,5 m seviyeleri arasında kalmaktadır. İklim değişikliği senaryolarına göre aynı tarım arazisi miktarı göz önüne alınarak yapılan modelleme sonuçlarına göre yüzyılın ortasında ve son çeyreğinin başında göl su seviyesi kotu 1120-1121 m seviyelerine düşmektedir. Yüz yılın son çeyreğinde düşüş devam ederek 1119,5-1120,5 m seviyelerine inmektedir. Sulu tarım yapılan arazinin 40 000 hektar seviyesinde tutulması durumunda iklim değişikliği senaryolarına ve modelleme sonuçlarına göre göl su seviyesi kotu minimum işletme seviyesine inmemektedir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, mevcut iklimsel verilerden ve iklim değişikliği senaryoları ile öngörülen iklim projeksiyonlarından yararlanarak, Beyşehir Gölü optimum işletme koşullarının değişimi GAMS optimizasyon programı ile oluşturulan model kullanılarak incelenmiştir. İklimsel faktörlere ek olarak, göl işletim koşullarına etkisi olan beşeri ve ekonomik faktörlerdeki değişimler de oluşturulan modele dahil edilerek, modelleme sonuçları analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen veriler aşağıdaki gibi özetlenmiştir;

1. Sulu tarım için gölden çekilen sulama suyu hacmi göl su bütçesine büyük yük getirmektedir.

Modelleme sonuçlarına göre mevcut kullanım alışkanlıklarının ve günümüz iklimsel şartların devam etmesi halinde;

2. Göl su seviyesinde düşüş devam ederek, 5 yıl sonunda ortalama göl su seviyesi kotu 1122 m ‘den ortalama 1120,5 m seviyelerine inecektir.
3. Göl su seviyesindeki büyük düşüş orta vadede yavaşlayarak 1120 m kotunda yatay bir seyir izlemektedir.
4. Göl ile sulaması yapılan sulu tarım alanının 80000 ha’dan 40000 ha’a düşürülmesi halinde göl su seviyesinde hesaplanan düşüş miktarı ortalama 0,5 m seviyesinde kalmaktadır.
5. Mevcut iklimsel şartların devam etmesi halinde Gembos Derivasyon Kanalı ile göle aktarılan su hacmine devamlı olarak ihtiyaç duyulmaktadır.

6. Göl suyu ile sulama yapılan sulu tarım alanının 80000 ha'ı geçerek 100000 ha'a yaklaşması halinde, orta vadede göl su seviyesi kuraklık sınırı olarak kabul edilen 1118,4 m seviyesine düşmektedir.
7. Modelleme sonuçlarına göre yağış değerlerinin mevsim normallerinin 2,4 katı alınması halinde taşkın hacmi oluşmakta, yağış değerlerinin %40 azalması halinde göl su seviyesi kuraklık sınırına yaklaşmaktadır.
8. Modelleme sonuçlarına göre en büyük fayda her durumda sulu tarımdan elde edilmektedir.
9. Göl su hacmini korumak amacı ile belirlenen asgari su seviyesi kotunun yüksek tutulması taşkın riskini arttırmakta ve mevcut sulu tarım arazisinin sulanmasını engellemektedir. Modelleme sonuçlarına göre kabul edilebilir asgari minimum su seviyesi kotu 1119 m olarak hesaplanmaktadır.
10. Devlet meteoroloji istasyonu tarafından yapılan buharlaşma tavaşı ölçümleri ile penman-monteith denklem takımları ile hesaplanan buharlaşma değerleri arasındaki fark kış aylarında azalırken yaz aylarında artış göstermekte,tava katsayısı her ay için farklı değerlere sahip olmaktadır.
11. Model, yüzeysel akış katsayısındaki değişimlere karşı büyük hassasiyet göstermektedir. Yüzeysel akış katsayısı değerinin 0,3'ün üstünde seçildiği durumlarda göl hacmi ilk yıldan itibaren artış göstermektedir.
12. Model, sulama suyu maliyetlerindeki artışa karşı az hassasiyet göstermektedir. Sulama suyu maliyeti 0,19 TL/m³'ten 0,667 TL/m³'e çıkana kadar mevcut sulu tarım alanında değişme olmamakta,0,667 TL/m³ ve daha fazla maliyetlerde ise, sulanabilecek arazi miktarında ani bir düşüş olduğu hesaplanmaktadır.
13. İklim değişikliği senaryolarına göre mevcut kullanım alışkanlıklarının devam etmesi halinde Beyşehir Göl'ü su yüzeyi kotu günümüze göre yaklaşık 2,5 m azalarak, 2040-2070 yılları arasında 1120-1119,5 m aralığında seyredecektir.
14. İklim değişikliği senaryolarına göre mevcut kullanım alışkanlıklarının devam etmesi halinde Beyşehir Göl'ü su yüzeyi kotu günümüze göre yaklaşık 3 m azalarak, 2070-2099 yılları arasında 1119,5-1120 m aralığında seyredecektir.

Gerçekleştirilen çalışmada elde edilen sonuçlar dikkate alınarak ileride yapılabilecek çalışmalar için aşağıdaki öneriler tavsiye edilmektedir;

1. Yapılan çalışmada Beyşehir Gölü hacminin yüksek tutulması ile sağlanacak sosyal gelirler, Beyşehir Gölü'ne benzer göllerde yapılan çalışmalardan yola çıkılarak tespit edilmiştir. Sosyal ve turizm gelirlerinin, bölge ekonomisine etkisi güncel göstegeler ile araştırılmalıdır.
2. Beyşehir Gölü Havzası'nda yapılan sulu tarım faaliyetlerinde daha az suyla etkin bir şekilde sulama yapan damla sulama benzeri daha modern sulama teknikleri ile sulama yapılmalı ve sulama yöntemleri bu doğrultuda geliştirecek teknikler araştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] Bilim ve Teknik Dergisi (2008). Su Fakirliği, Sayı 489.
- [2] Acatay, T., (1966), Beyşehir gölü - Manavgat ırmağı ilişkisi, DSİ Teknik Bülten, No. 9, 1-24, Ankara.
- [3] Yurtsever, Y., (1978), Tabii izotopların hidrolojide kullanılması esasları ve Antalya civarında karstik bölgede yerüstü - yeraltı suyu ilişkilerinin tabii izotoplarla araştırılması sonuçları, TÜBİTAK, VI. Bilim Kongresi, Mühendislik Araştırma Grubu, Ankara.
- [4] Günay, D.. (1986). "Karst water resources", IAHS Publ.No.161, Ankara.
- [5] TÜSTAŞ, (2001). Beyşehir Gölü sulak alanı yüzey su toplama havzası yönetim planı raporu, Ankara.
- [6] Atilla, A.Ö., (2002). "Afyon Ovası Yeraltı suyu Akım Modeli", Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 26 (2), 17-30.
- [7] Yaşar, S., Ceyhan, N., Şevik, H., Pekersen, S., Semerci, M., Söyleyici, F.D., Candan, E.B., Tunçez, S., Tunç, T., İrioğlu, İ., Şanlı, M.A., Yaman, C., Canal, M., (2003). Konya İlinin Sulak Alanları, Konya Valiliği İl Çevre ve Orman Müdürlüğü Yayın No: 10, Konya.
- [8] Nas, B., Berktaş, A., Karabörk, H., Ekercin S., ve Hoşafcıoğlu S., (2008) Effects on Lake Beyşehir water quality of point sources in Lake Beyşehir watershed Konya Closed Basin Groundwater and Drought Conference, Ministry of Environment and Forest, General Directorate of State Hydraulic Works, September 11-12, 2008, Konya.
- [9] Kantorovich, L.V. (1939), "Mathematical methods of organizing and planning production" (Russian, English translation appeared in Management Science 6 (1960) 366-422).

- [10] Gass, S.I. (2000), "Making Decisions with Precision", Business Week Ekim 30, (http://www.businessweek.com/archives/2000/b3705139.arc.htm?campaign_id=search#B3705139), 01.02.2006.
- [11] Çetin, E.(2004),Stokastik Programlama Yöntemiyle Bir Portföy Optimizasyonu Modelinin Geliştirilmesi, Yayınlanmamış Doktora Tezi, İstanbul, İ.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sayısal Yöntemler Bilim Dalı, İstanbul.
- [12] Ravikumar, V and K. Venugopal. (1998),Optimal operation of South Indian irrigation systems, Journal of water resources planning and management 124 (5): 264-271.
- [13] Jain, K. S., M. K. Goel and P. K. Agarwal. (1998),Reservoir operation studies of Sabramati system", Journal of water resources planning and management 124 (1): 31-38.
- [14] Hajilal M.S., N. H. Rao and P. B. S. Sarma. (1998), Real time operation of reservoir based canal irrigation systems, Journal of Agricultural Water Management No. 38 (2): 103-122.
- [15] Getachew, B. Peralta and C. Richard. (1999), Simulation/Optimization modeling for water resources management, Journal of water resources planning and management, 125 (3): 154-161.
- [16] Amit, K. Sinha, B. V. Rao and C. H. Bischof. (1999), Nonlinear optimization model for screening multipurpose reservoir system, Journal of water resources planning and management, 125 (4): 229-233.
- [17] Needham, J. T., D. W. Watkins, J. R. Lund and S. K. Nanda.(2000), Linear programming for flood control the Iowa and Des Moines Rivers, Journal of Water Resources Planning and Management 126 (3): 118-127.
- [18] Hugo, A. (2002), Reservoir designs and operation with variable lake hydrology, Journal of Water Resources Planning and Management 128 (6): 399-405.
- [19] Montaseri, M. and A. Adeloye. (2002), Effects of integrated planning on capacity-yield-performance functions, Journal of Water Resources Planning and Management 128 (6): 456-461.
- [20] Ming-Yen Tu, Nien-Sheng Hsu and William W.-G. Yeh. (2003), Optimization of reservoir management and operation with hedging rules, Journal of Water Resources Planning and Management, 129 (2): 86-97
- [21] Sunita Devi, D. K. Srivastava and C. Mohan. (2005), Optimal water allocation for the Transboundary Subernarekha River, India, Journal of Water Resources Planning and Management vol. 4: 253-269.

- [22] Hossein, M. V., Samani ve A. Mottaghi. (2006), Optimization of Water Distribution Networks using Integer Linear Programming. Journal of Hydraulic Engineering, 132(5): 501-509.
- [23] Reis, L. F. R, F. T. Bessler, G. A. Walters and D. Savic. (2006). Water supply reservoir operation by combined genetic algorithm – linear programming (GA-LP) approach, J. of Water Resources Management 20 (2): 227-255.
- [24] T.C. Devlet Su İşleri, <http://www.dsi.gov.tr/toprak-ve-su-kaynaklari>,01.06.2014.
- [25] Babaoğlu, M. (2007),Beyşehir Gölü’nün Sorunları ve Alınması Gereken Önlemler, Konya İl Genel Meclisi Beyşehir Gölü Araştırma Komisyonu, Konya.
- [26] Sattari, M.T., F. Salması and F. Öztürk (2008), Sulama amaçlı hazne kapasitesinin belirlenmesinde çeşitli yöntemlerin karşılaştırılması,Tarım Bilimleri Dergisi,14 (1) 1-7,Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi,Ankara.
- [27] Doğan,A.,Başayığıt,L.,Soyaslan,İ.,Nas,B.(2013),Göl-Yeraltısuyu-İklim İlişkisinin Yeraltısuyu Akım Modeli ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Yardımıyla Belirlenerek Gölün Optimum Dinamik İşletme Modelinin Oluşturulması: Beyşehir Gölü Modeli Sonuç Raporu,İstanbul.
- [28] Doğan, E., Işık, S., Sandalcı, M. (2007),“Günlük Buharlaşmanın Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Tahmin Edilmesi”,İMO Teknik Dergi,2007 4119-4131,Yazı 271
- [29] Doğan,A.,Şanlı,A.S. (2012),“Beyşehir Gölü Havzasında, Penman-Monteith, Blaney Criddle, Penman ve Tava Buharlaşması Yöntemleriyle Hesaplanan Buharlaşma Değerlerinin Karşılaştırılması”, İnşaat Mühendisliği’nde 100.Yıl Teknik Kongresi,Yıldız Teknik Üniversitesi,İstanbul.
- [30] Allen, R.A., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. 1998 Crop evapotranspiration Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper, vol. 56), Rome, Italy
- [31] Keskin, E.M., Terzi, Ö. (2006),Evaporation estimation models for Lake Eğirdir,Turkey Hydrol.Process. 20,2381–2391
- [32] WEB,<http://www.lakebeysehir.com/tanitim4.php>,01.06.2014.
- [33] Brouwer, C., Heibloem, M. (1986),Irrigation Water Management,Training manual no. 3 .FAO-Food and Agriculture Organization of the United Nations,Rome.
- [34] TBMM,(B.15.O.APK.0.23.300-567) Sayılı Yazılı Soru Önergesi, 12 Mart 2012,Ankara.

- [35] Gümüş,E.(2013),Göl-Yeraltısuyu Etkileşimi: Beyşehir Gölü Örneği,Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta.
- [36] Agrogen,Sulu Tarımda Alternatif Ürünler ve Getirileri WEB: [http://www.agrogen.com.tr/upload/files/\(Tar_mda%20karl_l_k%202012\)%20Sulu%20Tar_mda%20Alternatif%20_r_nler.pdf](http://www.agrogen.com.tr/upload/files/(Tar_mda%20karl_l_k%202012)%20Sulu%20Tar_mda%20Alternatif%20_r_nler.pdf),01.06.2014.
- [37] Moss, R.H. vd.,(2008), Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, Impacts, and Response Strategies, Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva
- [38] Moss, R. H. vd.,(2010), The next generation of scenarios for climate change research and assessment. Nature,2010:Vol 463j11 February 2010jdoi:10.1038/nature08823.
- [39] IPCC, (2007), Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, impacts, and Response Strategies: IPCC Expert Meeting Report. Eylül, 2007, the Netherlands.
- [40] Akçakaya,A.,Atay,H.,Demir,Ö.,(2013),İklim Değişikliği Senaryolarında Yeni Dönem: Paralel Yaklaşım ve Temsili Konsantrasyon Rotaları (rcps),6th Atmospheric Science Symposium - ATMOS 2013 3 - 5 Haziran 2013, İstanbul
- [41] Meinshausen M. vd.,(2011), The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300, Climatic Change (2011) 109:213–241.DOI 10.1007/s10584-011-0156-z
- [42] IPCC,(2013),Climate Change 2013,Annex 1:Atlas of Global and Regional Climate Projections ,Cambridge University Press, Cambridge, UnitedKingdom, NewYork, NY, ABD.
- [43] Demir, Ö.ve ark.(2013),Rcp4.5 Senaryosuna Göre Türkiye’de Sıcaklık ve Yağış Projeksiyonları,3. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi, Tikdek, İstanbul
- [44] Şen, Ö.L.(2013),A Holistic View Of climate Change And Its Impacts In Turkey ,Sabancı Üniversitesi, İstanbul

GAMS MODELLEME KODLARI

Bu çalışma ile oluşturulan ve Beyşehir Gölü'ne ait optimum işletme koşullarının elde edilmesi amacı ile hazırlanan GAMS kodları aşağıdaki gibidir.

```
$TITLE BEYSEHİR_OPTİMİZASYON
```

```
$ontext
```

```

=====
=                               109Y271                               =
=   GÖL-YERALTISUYU-İKLİM İLİŞKİSİNİN YERALTISUYU AKIM MODELİ   =
=   VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ (CBS) YARDIMIYLA BELİRLENEREK   =
=   GÖLÜN OPTİMUM DİNAMİK İŞLETME MODELİNİN OLUŞTURULMASI     =
=                                                                    =
=                               BEYŞEHİR GÖLÜ MODELİ             =
=                                                                    =
=                                                                    =
=                               Doç.Dr Ahmet DOĞAN               =
=                                                                    =
=                               Yıldız Teknik Üniversitesi         =
=                                                                    =
=                                                                    =
=====

```

Bu çalışma;Tübitak tarafından desteklenen 109Y271 No'lu proje kapsamında,iklim verileri ve senaryoları göz önüne alınarak,Beyşehir Gölü işletme modeline etki eden değişkenlerin optimum değerlerini tespit etmek amacı ile yapılmıştır.

```
$offtext
```

* ===== İndisler(Endeksler) =====
 *Veri Zaman aralığı:
 *2006-2010 yılları aralığını kapsamaktadır.

sets

*YILLAR: 1 = 2006,2=2007,...,5=2010 Yılı
 Y /1,2,3,4,5/

*AYLAR:Ocak=1,Şubat=2,...,Aralık=12
 A /1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12/

*Her yıl "Yaz ayları" ve "kış ayları" olmak üzere ikiye ayrılmıştır.
 *Bu terimler ile ifade edilmek istenen sulama yapılması gerekli aylar ile
 *sulama ihtiyacı olmayan aylardır.

*YAZ AYLARI
 YAZ(A) /5,6,7,8,9/

*KIŞ AYLARI
 KIS(A) /1,2,3,4,10,11,12/

* ===== Sabit ve değişken veriler =====

*GAMS dışında ölçülen veya hesaplanan veriler kullanıcı tercihinine göre
 *tablo halinde tanımlanabileceği gibi komut kullanılarak çağrılabilirler.

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

	1	2	3	4	5
1	109	141.2	28.6	142.6	89
2	93	62.8	56.8	243.8	59.4
3	155.8	97.4	80.8	114.2	18.8
4	80.4	26	43	103.6	66
5	58.8	9.4	32.6	103	22.5
6	22	36.8	14.4	12.40	83.7
7	1.4	20	14.8	7	4.5
8	20	24.6	14.8	16.80	7.8
9	53.6	26	172	36.99	7.5
10	312.8	66	76.4	28.4	14.2
11	143.6	281.2	73.6	147.4	73.7
12	2.2	313.8	165.6	246	123

;

*Buharlaşma yüksekliği değerleri GAMS dışında 2 farklı yol kullanılarak elde edilmişlerdir.Bunlardan ilki Beyşehir Meteoroloji istasyonu buharlaşma tavaşı ölçümleridir.Diğeri ise Penman-Monteith denk.tak. ile elde edilen değerlerdir.

*\$ontext

table bh(A,Y) Aylık buharlaşma yüksekliği (mm) P.Monteith modeli ile hesaplanan

	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	72.72	70.80	74.41	75.26	81.89
5	103.14	108.57	98.65	98.79	109.52
6	114.80	115.62	116.86	116.69	117
7	121.05	128.98	124.73	123.58	125.5
8	116.49	112.25	118.34	108.01	112
9	78.10	76.88	81.88	74.63	78
10	48.72	45.76	49.90	46.58	48.6
11	21.41	22.33	23.88	21.60	22
12	0	0	0	0	0

;

*\$offtext

* ===== 2040-2070 YILLARI PROJEKSİYONU VERİLERİNE GÖRE=====

\$ontext

table bh(A,Y) Aylık buharlaşma yüksekliği (mm) P.Monteith modeli ile hesaplanan

	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	76.25	74.45	77.69	78.85	84.8
5	107.47	112.58	102.89	103.14	112.6
6	118.91	119.64	120.68	120.54	121
7	124.83	132.08	128.12	123.58	127.6
8	119.15	114.93	120.77	110.72	114
9	80.23	78.82	83.83	76.92	80.1
10	50.14	47.02	51.27	47.69	49.6
11	21.96	22.80	24.30	22.01	23
12	0	0	0	0	0

;

\$offtext

* ===== 2070-2099 YILLARI PROJEKSİYONU VERİLERİNE GÖRE=====

\$ontext

table bh(A,Y) Aylık buharlaşma yüksekliği (mm) P.Monteith modeli ile hesaplanan

	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	78.77	77.05	80.02	81.39	87.5
5	110.54	115.40	105.89	106.22	115.9
6	121.78	122.46	123.34	123.22	124.3
7	127.44	134.18	130.45	112.54	130.3
8	120.94	116.74	122.37	123.58	117
9	81.65	80.09	85.12	78.48	83.1
10	51.08	47.83	52.15	48.38	52.6
11	22.26	23.05	24.52	22.21	25
12	0	0	0	0	0

;

\$offtext

* =====

table ks(A,Y) Aylık kullanım suyu (hm3)

	1	2	3	4	5
1	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4
2	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4
3	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4
4	14.4	14.4	14.4	14.4	14.4
5	14.4	14.4	14.4	14.4	14.4
6	14.4	14.4	14.4	14.4	14.4
7	18.4	18.4	18.4	18.4	18.4
8	17.4	17.4	17.4	17.4	17.4
9	16.4	16.4	16.4	16.4	16.4
10	15.4	15.4	15.4	15.4	15.4
11	15.4	15.4	15.4	15.4	15.4
12	15.4	15.4	15.4	15.4	15.4

;

*Bitki Su ihtiyaçları GAMS dışında Blaney-Criddle denklem takımı kullanılarak
*hesaplanmıştır.Referans olarak şekerpancarı bitkisi esas alınmıştır.

*\$ontext

table bsi(A,Y) Aylık bitki su ihtiyacı yüksekliği (mm)

	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	17.78	17.30	18.47	18.38	21.41
5	56.47	59.33	53.84	54.05	60.74
6	82.42	83.18	84.20	83.73	94.89
7	105.52	112.52	108.83	107.72	125.31
8	121.63	117.31	123.68	112.71	131.82
9	89.82	88.42	94.16	85.83	9
10	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0

;

*\$offtext

```

;

$offtext
* =====
* ===== 2070-2099 YILLARI PROJEKSİYONU VERİLERİNE GÖRE=====
$ontext
table bsi(A,Y) Aylık bitki su ihtiyacı yüksekliği (mm)

      1          2          3          4          5
1      0          0          0          0          0
2      0          0          0          0          0
3      0          0          0          0          0
4      19.27      18.81      19.81      19.86      22.60
5      60.48      63.04      57.77      58.08      64.6
6      87.44      88.06      88.83      88.41      98.9
7      111.07     117.02     113.80     113.05     131.4
8      126.27     121.99     127.88     117.42     136.2
9      93.90      92.11      97.89      90.25      13.5
10     0          0          0          0          0
11     0          0          0          0          0
12     0          0          0          0          0
;

$offtext
* =====
* =====
*Sabitler
scalars

Ah Havza Alanı(hm2) /413725/

Maxha Maksimum Göl Hacmi(Göl Kotu 1126) (h 11.6 m) /5979/
Minha Minimum Göl Hacmi(Göl Kotu 1118.4) (h 4.2 m) /1185.6/

Maxh Maksimum Göl Yüksekliği m /11.6/
Minh Minimum Göl yüksekliği m /4.2/

gtk Göl taban kotu m /1114.40/

c Yüzeysel Akış Katsayısı /0.144/

*Beyşehir Gölü çıkışında bulunan kanallar ile kontrollü olarak su tahliyesi
*yapılabilmektedir.Bu kanalların kapasiteleri orifis denklemleri kullanılarak
*GAMS hesaplanmış ve maksimum tahliye kapasitesi belirlenmiştir.

```

tahliyemax Kanal ile boşaltılabilecek en büyük hacim (hm3 ay) /526/

*Göl başlangıç kotu 1121,74 olarak alınmıştır.

*(2006-Ocak Ayı Beyşehir Gölü Yüzey kotu değeri.)

*Bu kota karşılık gelen göl hacmi ilk hacim olarak modele dahil edilmiştir.

GBaH İlk Yıl Gölde Bulunan Hacim 2006 yılı Ocak ayı su kotu 1121.74 m /3016/

BEAmax Ekim yapılabilecek maksimum alan (hm2) /80000/

BEAmin Ekim yapılabilecek minimum alan (hm2) /8000/

DEĞİŞİM KATSAYILARI

DEY YAĞIŞ DEĞİŞİKLİK KATSAYISI /1/

*Sosyal gelirler ağırlık katsayısı en fazla 1 olarak seçilebilir.

*SGAKY ve SGAKK değerleri 1 (bir)'e yaklaştıkça modelin izin verdiği göl minimum

*kot değeri yükselmekte, 0(sıfır)'a yaklaştıkça mutlak minimum kot değeri olan

*1118.4 kotuna doğru düşmektedir.

SGAKY SOSYAL GELİRLER AĞIRLIK KATSAYISI yaz aylarında /0.1/

SGAKK SOSYAL GELİRLERİ AĞIRLIK KATSAYISI kış aylarında /0.1/;

* ===== Değişkenler =====
variables

FAYDA Amaç denklemi ile elde edilen sayısal değer

*Turizm-Rekreasyon Getirisi/Götürüsü

SOSYALF Sosyal Faaliyetler Faydası

SOSYAL(A,Y) Sosyal Faaliyet Getiri veya Zararı

;

positive variables

*Tüm hacimler hm3

*Tüm alanlar hm2

*h(A,Y) m

Vg(A,Y) Güncel Hacim hm3

VgB(A,Y) Beyşehir Gölü Hacmi hm3

GBH(Y) Yıl Başı Göl Hacmi hm3

QYA(A,Y) Yüzeysel Akış İle Gelen Hacim hm3

QYSG(A,Y) Yeraltı Giren Su Hacmi hm3

QGA(A,Y) Göl Alanı Üzerine Düşen Yağış İle Gelen Hacim hm3

QGEM(A,Y) Gembos Derivasyon Tüneli İle Gelen Hacim hm3

QYSC(A,Y) Yeraltı Çıkan Su Hacmi hm3

QET(A,Y) Buharlaşma İle Giden Hacim hm3

QKLM(A,Y) Kullanım Suyu İçin Giden Hacim hm3

QSLM(A,Y) Sulama İçin Gölde Çekilebilecek Hacim hm3

SLMM(A,Y) Sulama suyu birim maliyeti (Tl m3)

hBSI(A,Y) Gölde karşılınması gereken bitki su ihtiyacı (mm)

QSAL(A,Y) Salınan Su Hacmi (Salınabilecek Su Hacmi) hm3
QTAS(A,Y) Taşkın Hacmi hm3

Ag(A,Y) Aylık Ortalama Göl Alanı ha=hm2
h(A,Y) Aylık Ortalama Göl Yüksekliği ha=hm2
gyk(A,Y) Göl Yüzeyi kotu m
BEA(Y) Bitki Ekim Alanı ha=hm2

Gelen(A,Y) Gelen Hacimler hm3
Giden(A,Y) Giden Hacimler hm3

*FAYDA FONKSİYONU TERİMLERİ

BEAF Bitki Ekim Alanı Getirisi (milyon TL)
QSLMM Sulama Suyu Maliyeti (milyon TL)
TASZ Taşkın Maliyeti (milyon TL)
QSALM Salınan Su Maliyeti (milyon TL)
KURUTF Kuru tarım Getirisi (milyon TL)

;

* ===== Denklem Tanımları =====

equations

gykd(A,Y) Göl Yüzeyi Kotu denklemi

VgD1(A,Y) İlk Aylar Dışında Güncel Hacim denklemi

VgD2(A,Y) İlk Aylar İçin Güncel Hacim denklemi

VgDb1(A,Y) İlk Yıl Başlangıç Hacmi denklemi
VgDb2(A,Y) İlk Yıl Dışında Başlangıç Hacmi denklemi

VgBD(A,Y) Beyşehir Gölü Hacim Hacim denklemi.

QYAD1(A,Y) Aylık Yüzeysel Akış Hacmi denklemi.
QYAD2(A,Y) Aylık Yüzeysel Akış Hacmi denklemi.
QGAD(A,Y) Aylık Göl Alanı Yağış Hacmi denklemi.

QYSGD(A,Y) Yeraltı suyu gelen hacim denklemi.
QYSCD(A,Y) Yeraltı suyu giden hacim denklemi.

QETD(A,Y) Aylık buharlaşma hacmi denklemi.
QKLMD(A,Y) Aylık kullanım suyu hacmi denklemi.
QSLMD(A,Y) Aylık Sulama Suyu Hacmi denklemi.

hBSID1(A,Y) Yağışın etersiz olması halinde bitki su ihtiyacı denklemi.
hBSID2(A,Y) Yağışın yeterli olması halinde Bitki su ihtiyacı denklemi.

GelenD(A,Y) Aylık gelen hacimler toplamı denklemi.
GidenD(A,Y) Aylık giden hacimler toplamı denklemi.

AgD(A,Y) Yükseklik-Göl Alanı denklemi
HgD(A,Y) Yükseklik-Göl Hacmi denklemi

TurYAZD(A,Y) YAZ AYLARI Turizm ve Rekreasyon (sosyal faydalar)Gelirleri denklemi
TurKISD(A,Y) KIŞ AYLARI Turizm ve Rekreasyon (sosyal faydalar)Gelirleri denklemi

SLMMD(A,Y) Sulama Suyu Maliyet Denklemi

```

QYAD1(A,Y)$((bsi(A,Y)-ya(A,Y)) < 0)..QYA(A,Y)=e=Ah*c*(ya(A,Y)-bsi(A,Y))*
(0.00001)*DEY;

QYAD2(A,Y)$((bsi(A,Y)-ya(A,Y)) > 0)..QYA(A,Y)=e=0;

*Göl Alanı Üzerine Düşen Yağış Hacmi
QGAD(A,Y)..QGA(A,Y)=e=ya(A,Y)*(0.00001)*Ag(A,Y)*DEY;

gykd(A,Y)..gyk(A,Y)=e=gtk+h(A,Y);

*Göl Yüzeyi Buharlaşıma Hacmi
QETD(A,Y)..QET(A,Y)=e=bh(A,Y)*(0.00001)*Ag(A,Y);

*Sulama Suyu Hacmi
QSLMD(A,Y)..QSLM(A,Y)=e=BEA(Y)*hBSI(A,Y)*0.00001;

hBSID1(A,Y)$((bsi(A,Y)-ya(A,Y)) > 0)..hBSI(A,Y)=e= bsi(A,Y)-ya(A,Y);
hBSID2(A,Y)$((bsi(A,Y)-ya(A,Y)) < 0)..hBSI(A,Y)=e= 0;

*İçme ve Kullanım Suyu Hacmi
QKLMD(A,Y)..QKLM(A,Y)=e= ks(A,Y)*0.1;

*== = = = =
*MODFLOW Yeraltı Suyu Modelleme Yazılımı İle Hesaplanan
*Göl Yüzey Kotu-Yeraltı Suyu Transferi İlişkisi

*Yeraltı Suyu Giren Hacim
QYSGD(A,Y)..QYSG(A,Y)=e=(5353.1*gyk(A,Y)*gyk(A,Y)-12038118.6*
gyk(A,Y)+6767975756.1)*30*0.00001;

*Yeraltı Suyu Çıkan Hacim
QYSCD(A,Y)..QYSC(A,Y)=e=(45418.11*gyk(A,Y)-50508611.36)*30*0.00001;
*== = = = =

QYAD1(A,Y)$((bsi(A,Y)-ya(A,Y)) < 0)..QYA(A,Y)=e=Ah*c*(ya(A,Y)-bsi(A,Y))*
(0.00001)*DEY;

QYAD2(A,Y)$((bsi(A,Y)-ya(A,Y)) > 0)..QYA(A,Y)=e=0;

*Göl Alanı Üzerine Düşen Yağış Hacmi
QGAD(A,Y)..QGA(A,Y)=e=ya(A,Y)*(0.00001)*Ag(A,Y)*DEY;

gykd(A,Y)..gyk(A,Y)=e=gtk+h(A,Y);

*Göl Yüzeyi Buharlaşıma Hacmi
QETD(A,Y)..QET(A,Y)=e=bh(A,Y)*(0.00001)*Ag(A,Y);

*Sulama Suyu Hacmi
QSLMD(A,Y)..QSLM(A,Y)=e=BEA(Y)*hBSI(A,Y)*0.00001;

hBSID1(A,Y)$((bsi(A,Y)-ya(A,Y)) > 0)..hBSI(A,Y)=e= bsi(A,Y)-ya(A,Y);
hBSID2(A,Y)$((bsi(A,Y)-ya(A,Y)) < 0)..hBSI(A,Y)=e= 0;

*İçme ve Kullanım Suyu Hacmi
QKLMD(A,Y)..QKLM(A,Y)=e= ks(A,Y)*0.1;

```

```

*== = = = =
*MODFLOW Yeraltı Suyu Modelleme Yazılımı ile Hesaplanan
*Göl Yüzey Kotu-Yeraltı Suyu Transferi İlişkisi

*Yeraltı Suyu Giren Hacim
QYSGD(A,Y)..QYSG(A,Y)=e=(5353.1*gyk(A,Y)*gyk(A,Y)-12038118.6*
gyk(A,Y)+6767975756.1)*30*0.00001;

*Yeraltı Suyu Çıkan Hacim
QYSCD(A,Y)..QYSC(A,Y)=e=(45418.11*gyk(A,Y)-50508611.36)*30*0.00001;
*== = = = =

*== = = = =
*Göl Yüzey Alanı ve Göl Derinliği Arasındaki ilişki
AgD(A,Y)..Ag(A,Y)=e=(71.277*(h(A,Y)*h(A,Y)*h(A,Y))-1885.40*(h(A,Y)*h(A,Y))
+18768.8*h(A,Y));

*Göl Hacmi ve Göl Derinliği Arasındaki ilişki
HgD(A,Y)..VgB(A,Y)=e=(-2.8781*(h(A,Y)*h(A,Y)*h(A,Y))+76.789*(h(A,Y)*h(A,Y))
+4.7028*h(A,Y));

*== = = = =
*Yaz Aylarında Göl Derinliği ve Sosyal Gelirler Arasındaki ilişki
TurYAZD(A,Y)$(YAZ(A))..SOSYAL(A,Y)=e=(-0.0306*(h(A,Y)*h(A,Y)*h(A,Y))
+0.4742*(h(A,Y)*h(A,Y))+0.6941*h(A,Y)-8.8233);

*Kış Aylarında Göl Derinliği ve Sosyal Gelirler Arasındaki ilişki
TurKISD(A,Y)$(KIS(A))..SOSYAL(A,Y)=e=(-0.0119*(h(A,Y)*h(A,Y)*h(A,Y))
+0.1672*(h(A,Y)*h(A,Y))+0.5732*h(A,Y)-4.6192);

*SULAMA SUYU MALİYETİ
SLMMD(A,Y)..SLMM(A,Y)=e=0.0065*(h(A,Y)**2)-0.1555*h(A,Y)+1.1091;

*Yaz ve kış aylarında turizm-tarım ilişkisi
SOSYAL.lo(A,Y)$(YAZ(A))=15-(0.25*(100-100*SGAKY));
SOSYAL.lo(A,Y)$(KIS(A))=5-(0.1*(100-100*SGAKK));

*== = = = =

*Hm2 olarak bitki ekim alanı alt ve üst sınırı

BEA.up(Y)=BEAmax;

BEA.lo(Y)=BEAmin;

*DSİ Tarafından Belirlenen Minimum ve Maksimum Göl Hacmi ve Yükseklikleri
VgB.up(A,Y)=Maxha;
VgB.lo(A,Y)=Minha;

h.up(A,Y)=Maxh;
h.lo(A,Y)=Minh;

*Beyşehir Gölü Çıkışında Bulunan Regülatör Tahliye Kapasitesi (hm3/ay)
QSAL.up(A,Y)=tahliyemax;

*Gembos Kanalı ile Gelebilecek Maksimum Hacim hm3
QGEM.up(A,Y)=10.8;
QGEM.lo(A,Y)=0;

```

```

*FAYDA FONKSİYONU TERİMLERİ (FİYATLAR MİLYON TL)

BEAFD.. BEAF  =e= (sum((Y),BEA(Y)))*0.0042;
*QSLMMD..QSLMM =e= (sum((A,Y),(QSLM(A,Y))))*0.666;
QSLMMD..QSLMM =e= (sum((A,Y),(QSLM(A,Y)*SLMM(A,Y)))));
TASZD.. TASZ  =e= (sum((A,Y),QTAS(A,Y)))*10000;
QSALMD..QSALM =e= (sum((A,Y),QSAL(A,Y)))*0.19;
SOSFD.. SOSYALF =e= (sum((A,Y),SOSYAL(A,Y)))*1;
KURUTFD..KURUTF =e= (sum((Y),BEAmax-BEA(Y)))*0.00168;

*FAYDA FONKSİYONU

OBJECTIVE..FAYDA =e= (BEAF)+(SOSYALF)+(KURUTF)-(QSLMM)-(TASZ)-(QSALM);

* ===== Model Tanımı =====

model BEYSEHiR_OPTiMiZASYON/all/;

option nlp=ipopt;

option iterlim=50000;

* Amaç fonksiyonu çözüm yönteminin tanıtılması.

Solve BEYSEHiR_OPTiMiZASYON using NLP maximizing FAYDA;

* ===== Sonuç Raporunda Görülmek İstenen Değerler =====
display
Vg.1
VgB.1

Gelen.1
Giden.1

QYA.1
QGA.1
QGEM.1

QYSG.1
QYSC.1

QET.1
QKLM.1
QSLM.1
hBSI.1

Ag.1
h.1
gyk.1

BEA.1

QSAL.1
QTAS.1

FAYDA.1

BEAF.1

SOSYAL.1
SOSYALF.1

QSLMM.1
QSALM.1
TASZ.1
KURUTF.1

SLMM.1
;
```

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Ahmet Sancak ŞANLI
Doğum Tarihi ve Yeri :22.12.1985 Lüleburgaz
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta :ahmetsancaksanli@tcdd.gov.tr



ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Çevre Mühendisliği	Sakarya Üniversitesi	2009
Lisans	İnşaat Mühendisliği	Sakarya Üniversitesi	2008
Lise	Fen Bilimleri	Kocaeli Anadolu Lisesi	2004

YAYINLARI

Bildiri

1.“Beyşehir Gölü Havzasında, Penman-Monteith, Blaney-Criddle, Penman ve Tava Buharlaşması Yöntemleriyle Hesaplanan Buharlaşma Değerlerinin Karşılaştırılması” Ahmet Dogan, A.Sancak Sanli, YTÜ 2012İstanbuL