

**T.C.**  
**SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GÖL-YERALTISUYU ETKİLEŞİMİ:**  
**BEYŞEHİR GÖLÜ ÖRNEĞİ**

**Erdem GÜMÜŞ**

**Danışman**

**Doç. Dr. Ahmet DOĞAN**

**II. Danışman**

**Doç. Dr. Veysel GÜLDAL**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**  
**ISPARTA - 2013**

© 2013 [Erdem GÜMÜŞ]

## TEZ ONAYI

**Erdem GÜMÜŞ** tarafından hazırlanan "**Göl-Yeraltısuyu Etkileşimi: Beyşehir Gölü Örneği**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

**Danışman**

**Doç. Dr. Ahmet DOĞAN**  
Yıldız Teknik Üniversitesi



**Jüri Üyesi**

**Doç. Dr. Veysel GÜLDAL**  
Süleyman Demirel Üniversitesi



**Jüri Üyesi**

**Doç. Dr. Gökhan CİVELEKOĞLU**  
Süleyman Demirel Üniversitesi



**Jüri Üyesi**

**Yrd. Doç. Dr. Uğur Şafak ÇAVUŞ**  
Süleyman Demirel Üniversitesi



**Jüri Üyesi**

**Yrd. Doç. Dr. Hakan TONGAL**  
Süleyman Demirel Üniversitesi



**Enstitü Müdürü**

**Prof. Dr. Mehmet Cengiz KAYACAN**.....

## **TAAHHÜTNAME**

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

**Erdem GÜMÜŞ**

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
İÇİNDEKİLER .....	i
ÖZET.....	vii
ABSTRACT .....	ix
TEŞEKKÜR.....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xvi
1. GİRİŞ .....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ .....	3
2.1.Göl - Yeraltısuyu İlişkisi ile İlgili Yapılan Çalışmalar .....	3
2.2.Beyşehir Gölü ile İlgili Yapılan Önceki Çalışmalar .....	10
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	12
3.1.Çalışma Alanı.....	12
3.2.Çalışma Alanının Hidrolojisi .....	14
3.2.1.Yağış.....	14
3.2.2.Buharlaşma .....	30
3.2.3.Yeraltı suyu .....	35
3.2.4.Yüzeysel akış.....	41
3.3.Yağış – Akış İlişkisi .....	43
3.3.1.Alt havza akarsu debilerinin hesaplanması .....	47
3.4.Su Bütçesi .....	56
3.5.Bölgesel Jeoloji .....	58
3.6.Hidrojeoloji .....	62
3.7.Jeolojik Birimlerin Hidrojeolojik Özellikleri.....	64
3.7.1.Geçirimli birim (Gç1).....	66
3.7.2.Geçirimli birim (Gç2).....	66
3.7.3.Yarı geçirimli birim (Gy) .....	67
3.7.4.Az geçirimli birim (Ga) .....	69
3.7.5.Geçirimsiz birim (Gz1) .....	69
3.7.6.Geçirimsiz birim (Gz2) .....	69
4. BEYŞEHİR GÖLÜ HAVZASI YERALTISUYU AKIM MODELİ.....	71

4.1.Yeraltısuyu Akımının Matematiksel Denklemi .....	71
4.2.MODFLOW 2000 .....	73
4.3.Beyşehir Gölü Havzası Yeraltısuyu Akımının MODFLOW ile .....	
Modellenmesi .....	73
4.4.Sınır Koşulları ve Grid Ağlarının Oluşturulması .....	74
4.5.Tabakaların Oluşturulması ve Özellikleri .....	76
4.6.Akiferin Hidrojeolojik Parametreleri .....	84
4.7.Model parametreleri .....	85
4.8.Yeraltısuyu Akım Modelinin Kalibrasyonu.....	92
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	137
KAYNAKLAR .....	139
ÖZGEÇMİŞ .....	145

## ÖZET

**Yüksek Lisans Tezi**

### **GÖL-YERALTISUYU ETKİLEŞİMİ (BEYŞEHİR GÖLÜ ÖRNEĞİ)**

**Erdem GÜMÜŞ**

**Süleyman Demirel Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Doç.Dr. Ahmet DOĞAN**

**II.Danışman: Doç.Dr. Veysel GÜLDAL**

Günümüzde artan dünya nüfusu ve giderek azalan temiz su kaynakları nedeniyle mevcut su kaynaklarının kullanımı büyük önem taşımaktadır. Ülkemizin 2011 nüfusu yaklaşık 75 milyon, kişi başına düşen su miktarı ise 1566 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup>/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. Bu çalışmada Türkiye'nin en büyük tatlı su gölü olan Beyşehir Gölü'nün yeraltısuyu modeli oluşturulmuştur.

Bu çalışmada, Beyşehir Havzası'nın jeolojik, hidrolojik ve hidrojeolojik özellikleri incelenerek göl-yeraltısuyu etkileşimi incelenmiştir. Havzada daha önce yapılmış olan jeolojik çalışmalar doğrultusunda üç boyutlu yeraltısuyu kararlı akım modeli MODFLOW programı kullanılarak oluşturulmuştur. Model 4 tabakadan oluşup 180 satır ve 182 sütundan oluşmaktadır. Modelde 2011 yılı hidrolojik verileri ve kuyu pompaj çekimleri esas alınmıştır. Bölgedeki yeraltısuyu akımının 2011 yılı Mayıs ayında kararlı akım durumunda olduğu varsayılarak modelin kalibrasyonu yapılmış

ve çalışma alanının hidrojeolojik parametreleri belirlenmiştir. Kalibrasyon sonucu Beyşehir Havzası'nın 2011 yılı yeraltısuyu bütçesi hesaplanmıştır. Ayrıca, kuyulardan pompajın %50 azalması veya artması ile Uluslararası İklim Değişikliği Sempozyumu'nun (IPCC) 2007 raporunda yer alan iklim değişikliği senaryolarına göre 2050 ve 2100 yılına kadar olabilecek durumlar için yeraltısuyu modeli çalıştırılıp sonuçlar yorumlanmıştır.

Elde edilen yeraltısuyu modelinin Beyşehir Havzası'ndaki yeraltısuyunun kontrol ve takip edilmesi, gelecekte olası iklim senaryolarına karşı yeraltısuyu seviye değişimlerinin tahmin edilebilmesi ve yeraltısuyu kaynaklarının daha etkin yönetilebilmesi için faydalı olacağı düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Yeraltısuyu Modeli, Beyşehir Gölü Havzası, Hidrolojik Modelleme, MODFLOW

**2013, 145 sayfa**



## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

### **LAKE-GROUNDWATER INTERACTION (CASE STUDY of BEYSEHİR LAKE)**

**Erdem GÜMÜŞ**

**Süleyman Demirel University  
Graduate School of Applied and Natural Sciences  
Civil Engineering Department**

**Supervisor: Assoc.Prof.Dr. Ahmet DOĞAN**

**Co-Supervisor: Assoc.Prof.Dr. Veysel GÜLDAL**

Recently, the use of water resources is getting extremely important due to world's rapidly increasing population and decreasing freshwater resources. Turkey's 2011 population is about 75 million and available freshwater per person is 1566 m<sup>3</sup>/year. This figures put our country in the class of water-poor countries. According to 2023 projections, our population will be about 100 million and available water per capita will be about 1125 m<sup>3</sup>/year. By considering this population growth rate and water usage habits, it is not difficult to estimate that there will be tremendous stresses on available water resources. Therefore water resources in Turkey should be protected and effectively managed to save future generations from water shortages. In this study a groundwater model is developed for Beysehir Lake which is the biggest fresh water lake of Turkey.

In this study, Beysehir Basin's geological, hydrological, hydrogeological characteristics were investigated by examining the interaction of groundwater and lakes. Three dimensional groundwater flow model of the study area was developed using MODFLOW. In line with earlier geological studies on the plain, groundwater model was constructed as four-layer model and consists of 180 rows and 182 columns. The model is calibrated for May 2011 hydrologic conditions as steady state flow conditions. As a result of calibration the hydrogeological parameters of the study area were determined. May 2011 groundwater budget of Beysehir Basin was also calculated using developed model. Besides, the model was simulated to investigate the groundwater flow responses to 50% decrease and 50% increase in

groundwater pumping, and 2050 and 2100 climate-change scenarios that is reported by Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) in 2007.

The developed model in this study is considered to be useful in simulating groundwater flow conditions for possible future changes of groundwater use and climate change scenarios and in managing, controlling, and monitoring groundwater resources in the region.

**Key Words:** Groundwater, Beysehir Basin, modeling, MODFLOW

**2013, 145 pages**

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmamın her aşamasında beni sabırla yönlendiren, değerli görüş ve katkılarını benden esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç. Dr. Ahmet DOĞAN'a sonsuz şükran ve en derin saygılarımı sunarım.

Ayrıca araştırmam ile ilgili bilgi, modelleme için gerekli veriler için Devlet Su İşleri ve Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğüne sağlamış oldukları bilgilerden dolayı teşekkürü borç bilirim.

Bu tez çalışması, TÜBİTAK 109Y271 no'lu proje ile desteklenmiştir. TÜBİTAK'ın sağlamış olduğu maddi kaynaklardan dolayı teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimimin tez aşamasında Farabi programı ile Yıldız Teknik Üniversitesine geldim. Buradaki çalışmalarında bana destek sağlayan Yıldız Teknik Üniversitesi Hidrolik Anabilim Dalı Öğretim görevlisi değerli hocalarıma ve tüm Farabi çalışanlarına teşekkür ederim.

Tez aşaması süresince İstanbul'da konaklama ihtiyacımı karşılayan Sultanahmethan Yüksek Öğrenim Öğrenci Yurdu çalışanlarına sonsuz teşekkür ederim

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan değerli Abim Brett McGowen'a ve aileme sonsuz sevgilerimi sunarım.

Erdem GÜMÜŞ  
ISPARTA, 2013

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 3. 1. Çalışma alanının harita üzerindeki konumu (Google Earth, 2012) .....	13
Şekil 3. 2. Beyşehir Gölü'nden çekilen suyun dağılımı.....	14
Şekil 3. 3. Beyşehir istasyonu yıllık toplam yağış ve eklenik sapma grafiği.....	17
Şekil 3. 4. Seydişehir istasyonu yıllık toplam yağış ve eklenik sapma grafiği .....	18
Şekil 3. 5. Manavgat istasyonu yıllık toplam yağış ve eklenik sapma grafiği.....	19
Şekil 3. 6. Yatağan istasyonu yıllık toplam yağış ve eklenik sapma grafiği.....	20
Şekil 3. 7. Konya istasyonu yıllık toplam yağış ve eklenik sapma grafiği .....	21
Şekil 3. 8. Isparta istasyonu yıllık toplam yağış ve eklenik sapma grafiği.....	22
Şekil 3. 9. Yalvaç istasyonu yıllık toplam yağış ve eklenik sapma grafiği.....	23
Şekil 3. 10. Yenişarbademli istasyonu yıllık toplam yağış ve eklenik sapma grafiği.....	24
Şekil 3. 11. Cumra istasyonu yıllık toplam yağış ve eklenik sapma grafiği .....	25
Şekil 3. 12. Huğlu istasyonu yıllık toplam yağış ve eklenik sapma grafiği.....	26
Şekil 3. 13. Gedikli istasyonu yıllık toplam yağış ve eklenik sapma grafiği.....	27
Şekil 3. 14. Gölyaka istasyonu yıllık toplam yağış ve eklenik sapma grafiği .....	28
Şekil 3. 15. Yeşildağ istasyonu yıllık toplam yağış ve eklenik sapma grafiği.....	29
Şekil 3. 16. Uzun yıllar yağış ortalama haritası .....	30
Şekil 3. 17. Beyşehir Gölü Havzasında ölçüm alınan gözlem kuyularının yerleşim haritası .....	35
Şekil 3. 18. Gölün Doğu ve Güney yönlerindeki kuyuların YASS seviyelerinin zamanla değişimleri.....	39
Şekil 3. 19. Gölün Batı ve Kuzey yönlerindeki kuyuların YASS seviyelerinin zamanla değişimleri.....	40
Şekil 3. 20. Beyşehir Gölü Havzasında bulunan derelerin haritası.....	41
Şekil 3. 21. Mutlu Havzası Yağış Yükseklikleri (2011) .....	44
Şekil 3. 22. Parshall Savağında ölçülen debileri (2011) .....	44
Şekil 3. 23. Parshall Savağında ölçülen debileri (2012) .....	44
Şekil 3. 24. Mutlu Havzasında ölçülen Yağış (2012) .....	45
Şekil 3. 25. Parshall Savağında ölçülen Ocak-Şubat-Mart 2011 debileri .....	45
Şekil 3. 26. Parshall Savağında ölçülen Nisan-Mayıs-Haziran 2011 debileri .....	45
Şekil 3. 27. Parshall Savağında ölçülen Temmuz-Ağustos-Eylül 2011 debileri .....	46
Şekil 3. 28. Parshall Savağında ölçülen Ekim-Kasım-Aralık 2011 debileri .....	46
Şekil 3. 29. Mutlu kuyusundaki basınç sensorlu limnigraftan alınan YASS değişim grafiği .....	47
Şekil 3. 30. Gölkonak kuyusundaki şamandıralı limnigraftan alınan YASS değişim grafiği .....	47
Şekil 3. 31. Sızma-Tutulma ve Yağış fazlasının zamanla değişimi.....	48
Şekil 3. 32. Yağış- Akış yükseklikleri (Mutlu Havzası) .....	52
Şekil 3. 33. Yağış- Akış yükseklikleri (Hizar Deresi-Yenişarbademli Havzası).....	53
Şekil 3. 34. Thiessen Poligon Yöntemine Göre Yağışların Dağılımı .....	54
Şekil 3. 35. Thiessen Poligon ile Alt havzaların Kesişimi.....	55

Şekil 3. 36. Su bütçesi hesabının grafiksel gösterimi .....	57
Şekil 3. 37. Isparta büklümünün basitleştirilmiş jeoloji haritası (Yağmurlu, 2004)..	60
Şekil 3. 38. Beyşehir Gölü beslenme havzası tali havzalar haritası.....	63
Şekil 3. 39. Beyşehir Gölü Havzası hidrojeoloji haritası.....	65
Şekil 3. 40. Türkiye karst bölgeleri haritası (Günay, 1981'den değiştirilerek alınmıştır.) .....	68
Şekil 4. 1. Gözenekli bir ortamda akış gösteren birim kontrol hacmi (Freeze and	72
Şekil 4. 2. Modellenen Havzadaki aktif, pasif (no-flow), ve gölü temsil eden sabit yüklü (constant-head) hücrelerin Groundwater Vistas ta görünümü.....	75
Şekil 4. 3. Model özet bilgileri.....	76
Şekil 4. 4. Üç boyutlu yeraltısuyu akım simülasyonu için model grid örneği (USGS, 1997'den değiştirilerek alınmıştır).....	76
Şekil 4. 5. DSİ Genel Müdürlüğünden temin edilen kuyu loglarının dağılımı .....	77
Şekil 4. 6. Havzanın Doğu-Batı yönünde çizilmiş hidrojeolojik kesit.....	79
Şekil 4. 7. 1. tabakanın kalınlık haritası .....	79
Şekil 4. 8. Model alanındaki 1. Tabakayı gösteren harita.....	80
Şekil 4. 9. 2. tabakanın kalınlık haritası .....	80
Şekil 4. 10. Model alanındaki 2. tabakayı gösteren harita .....	81
Şekil 4. 11. 3 nolu tabakanın kalınlık haritası .....	82
Şekil 4. 12. Model alanındaki 3. tabakayı gösteren harita .....	82
Şekil 4. 13. 4 nolu tabakanın kalınlık haritası .....	83
Şekil 4. 14. Model alanındaki 4. tabakayı gösteren harita .....	83
Şekil 4. 15. Modelde 1.tabaka rasat kuyularının yerleşim haritası .....	90
Şekil 4. 16. Modelde 2.tabaka rasat kuyularının yerleşim haritası .....	91
Şekil 4. 17. Modelde 3.tabaka rasat kuyularının yerleşim haritası .....	91
Şekil 4. 18. Modelde 4.tabaka rasat kuyularının yerleşim haritası .....	92
Şekil 4. 19. Kalibrasyon sonucu gözlenen ve hesaplanan yeraltısuyu seviyeleri .....	93
Şekil 4. 20. Modelde 1.tabakanın yeraltısuyu akım yönünü gösteren harita .....	94
Şekil 4. 21. Modelde 2.tabakanın yeraltısuyu akım yönünü gösteren harita .....	94
Şekil 4. 22. Modelde 3.tabakanın yeraltısuyu akım yönünü gösteren harita .....	95
Şekil 4. 23. Modelde 4.tabakanın yeraltısuyu akım yönünü gösteren harita .....	95
Şekil 4. 24. Modeldeki 1.tabakanın hidrolik iletkenlik katsayı değerleri .....	96
Şekil 4. 25. Modeldeki 2.tabakanın hidrolik iletkenlik katsayı değerleri .....	97
Şekil 4. 26. Modeldeki 3.tabakanın hidrolik iletkenlik katsayı değerleri .....	97
Şekil 4. 27. Modeldeki 4.tabakanın hidrolik iletkenlik katsayı değerleri .....	98
Şekil 4. 28. Modelde hesaplanan akiferin genel su bütçesi.....	99
Şekil 4. 29. Modelde 1.tabaka için su bütçesi .....	101
Şekil 4. 30. Modelde 2.tabaka için su bütçesi .....	102
Şekil 4. 31. Modelde 3.tabaka için su bütçesi .....	103
Şekil 4. 32. Modelde 4.tabaka için su bütçesi .....	104
Şekil 4. 33. Pompajın %50 azaltılması sonucu modelin su bütçesi .....	106
Şekil 4. 34. Modelde 1.tabakadaki kuyulardan %50 pompajın azaltılması sonucu.	107
Şekil 4. 35. Modelde 2.tabakadaki kuyulardan %50 pompajın azaltılması sonucu.	108
Şekil 4. 36. Modelde 3.tabakadaki kuyulardan %50 pompajın azaltılması sonucu.	108

Şekil 4. 37. Modelde 4.tabakadaki kuyulardan %50 pompajın azaltılması sonucu.	109
Şekil 4. 38. Pompajın %50 arttırılması sonucu modelin su bütçesi .....	110
Şekil 4. 39. Modelde 1.tabakadaki kuyulardan %50 pompajın arttırılması sonucu.	110
Şekil 4. 40. Modelde 2.tabakadaki kuyulardan %50 pompajın arttırılması sonucu.	111
Şekil 4. 41. Modelde 3.tabakadaki kuyulardan %50 pompajın arttırılması sonucu.	111
Şekil 4. 42. Modelde 4.tabakadaki kuyulardan %50 pompajın arttırılması sonucu.	112
Şekil 4. 43. A1FI, A2, B1, B2 senaryoları için Avrupa'nın farklı bölgelerindeki yağış .....	116
Şekil 4. 44. 2050 yılı için A1FI senaryosunun 1.tabaka için .....	117
Şekil 4. 45. 2050 yılı için A1FI senaryosunun 2.tabaka için .....	118
Şekil 4. 46. 2050 yılı için A1FI senaryosunun 3.tabaka için .....	118
Şekil 4. 47. 2050 yılı için A1FI senaryosunun 4.tabaka için .....	119
Şekil 4. 48. 2100 yılı için A1FI senaryosunun 1.tabaka için .....	120
Şekil 4. 49. 2100 yılı için A1FI senaryosunun 2.tabaka için .....	120
Şekil 4. 50. 2100 yılı için A1FI senaryosunun 3.tabaka için .....	121
Şekil 4. 51. 2100 yılı için A1FI senaryosunun 4.tabaka için .....	121
Şekil 4. 52. 2050 yılı için B1 senaryosunun 1.tabaka için .....	122
Şekil 4. 53. 2050 yılı için B1 senaryosunun 2.tabaka için .....	123
Şekil 4. 54. 2050 yılı için B1 senaryosunun 3.tabaka için .....	123
Şekil 4. 55. 2050 yılı için B1 senaryosunun 4.tabaka için .....	124
Şekil 4. 56. 2100 yılı için B1 senaryosunun 1.tabaka için .....	125
Şekil 4. 57. 2100 yılı için B1 senaryosunun 2.tabaka için .....	125
Şekil 4. 58. 2100 yılı için B1 senaryosunun 3.tabaka için .....	126
Şekil 4. 59. 2100 yılı için B1 senaryosunun 4.tabaka için .....	126
Şekil 4. 60. 2050 yılı için B2 senaryosunun 1.tabaka için .....	127
Şekil 4. 61. 2050 yılı için B2 senaryosunun 2.tabaka için .....	128
Şekil 4. 62. 2050 yılı için B2 senaryosunun 3.tabaka için .....	128
Şekil 4. 63. 2050 yılı için B2 senaryosunun 4.tabaka için .....	129
Şekil 4. 64. 2100 yılı için B2 senaryosunun 1.tabaka için .....	130
Şekil 4. 65. 2100 yılı için B2 senaryosunun 2.tabaka için .....	130
Şekil 4. 66. 2100 yılı için B2 senaryosunun 3.tabaka için .....	131
Şekil 4. 67. 2100 yılı için B2 senaryosunun 4.tabaka için .....	131
Şekil 4. 68. 2050 yılı için A2 senaryosunun 1.tabaka için.....	132
Şekil 4. 69. 2050 yılı için A2 senaryosunun 2.tabaka için.....	133
Şekil 4. 70. 2050 yılı için A2 senaryosunun 3.tabaka için.....	133
Şekil 4. 71. 2050 yılı için A2 senaryosunun 4.tabaka için.....	134
Şekil 4. 72. 2100 yılı için A2 senaryosunun 1.tabaka için.....	135
Şekil 4. 73. 2100 yılı için A2 senaryosunun 2.tabaka için.....	135
Şekil 4. 74. 2100 yılı için A2 senaryosunun 3.tabaka için.....	136
Şekil 4. 75. 2100 yılı için A2 senaryosunun 4.tabaka için.....	136

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 3. 1. Beyşehir Gölü Havzası ve yakın çevresinde bulunan meteoroloji istasyonları .....	15
Çizelge 3. 2. Beyşehir Gölü etrafındaki istasyonlara ait uzun yıllar ortalama yağış değerleri .....	16
Çizelge 3. 3. Beyşehir Gölü ve yakın çevresinde buharlaşma gözlemi yapan meteoroloji istasyonlarının ortalama yıllık toplam buharlaşma değerleri .....	31
Çizelge 3. 4. Beyşehir Gölü ve yakın çevresinde sıcaklık gözlemi yapan meteoroloji istasyonlarına ait yıllık ortalama sıcaklıklar.....	31
Çizelge 3. 5.a. FAO-Penmann-Monteith ve DMİ Tava Buharlaşma değerlerinin karşılaştırılması .....	33
Çizelge 3. 6.a. Çalışma Alanında Yapılan Aylık Yeraltısu Seviyesi Ölçümleri (2010 Yılı).....	36
Çizelge 3. 7. Beyşehir Gölü Havzasında bulunan akım ve göl gözlem istasyonları ve ortalama yıllık toplam akım .....	42
Çizelge 3. 8. Eğri Numaraları .....	51
Çizelge 3. 9. Son beş günlük toplam yağış göz önüne alındığında Eğri Numaraları (CN) .....	52
Çizelge 3. 10. Mutlu ve Gölyaka Deney havzalarına göre kalibre edilmiş CN değerleriyle Thiessen poligonlarına göre hesaplanmış yağış-akış katsayıları.....	54
Çizelge 3. 11. Mutlu ve Gölyaka Deney havzalarına göre kalibre edilmiş CN değerleriyle alt havza alanlarına göre hesaplanmış yağış-akış ilişkisi .	55
Çizelge 3. 12. Beyşehir Gölü Havzası su bilançosu hesabı .....	56
Çizelge 4.1. DSİ Genel Müdürlüğünden Temin Edilen Kuyulara Ait Özet Bilgi.....	78
Çizelge 4.2. Beyşehir 2011 Yılı aylık yağış değerleri (mm).....	86
Çizelge 4.3. Beyşehir 2011 Yılı Aylık Buharlaşma Değerleri (mm).....	89
Çizelge 4. 4. Modelin genel su bütçesi .....	100
Çizelge 4. 5. Modelde 1.tabakanın genel su bütçesi .....	102
Çizelge 4. 6. Modelde 2.tabakanın genel su bütçesi .....	103
Çizelge 4. 7. Modelde 3.tabakanın genel su bütçesi .....	104
Çizelge 4. 8. Modelde 4.tabakanın genel su bütçesi .....	105
Çizelge 4. 9. Sıcaklık değişime göre iklim değişikliği senaryosu, SPM-3 .....	113
Çizelge 4. 10. Farklı iklim senaryoları için yıllara göre tahmin edilen sıcaklık .....	114
Çizelge 4. 11. Blaney-Criddle'a göre hesaplanan potansiyel evapotranspirasyon artış .....	115
Çizelge 4. 12. Dört farklı senaryo için hesaplanan yağış değişim yüzdeleri .....	116

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

K	Kuzey
B	Batı
D	Doğu
GB	Güneybatı
GD	Güneydoğu
DSİ	Devlet Su İşleri
KKTC	Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti
MTA	Maden Tetkik ve Arama
DMİ	Devlet Meteoroloji İşleri
GV	Groundwater Vistas
GIS	Geological Information System
GMS	Groundwater modeling system
Gç	Geçirimli
Gy	Yarı Geçirimli
Ga	Az Geçirimli
Gz	Geçirimsiz
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
SRES	Special Report on Emissions Scenarios
MODFLOW	Modular three-dimensional finite difference groundwater flow model
MODFLOWP	Parameter Estimation Version of the Modular Model
UTM	Universal Transverse Mercator
$q$	Darcy akımı [L/T]
K	Hidrolik iletkenlik katsayısı [L/T]
$i$	İki nokta arasındaki hidrolik eğimi [L/L]
$h$	hidrolik yük[L]
$\rho$	Öz kütle [M/L <sup>3</sup> ]
$qx$	X yönündeki darcy akımı
$qy$	Y yönündeki darcy akımı
$qz$	Z yönündeki darcy akımı
Kx	X yönündeki hidrolik iletkenlik katsayısı
Ky	Y yönündeki hidrolik iletkenlik katsayısı



$K_z$	Z yönündeki hidrolik iletkenlik katsayısı
$V_{cont}$	İki tabaka arasındaki düşey sızma miktarı [1/T]
$\Delta V_k$	Üstteki tabakanın kalınlığı [L]
$\Delta V_{k+1}$	Alttaki tabakanın kalınlığı [L]
$[K_z]_{j, i, k}$	Üstteki tabakanın düşey hidrolik iletkenliği [L/T]
$[K_z]_{j, i, k+1}$	Alttaki tabakanın düşey hidrolik iletkenliği [L/T]
$U$	Aylık evapotranspirasyon [L]
$k_c$	Bitkinin cinsine göre buharlaşma katsayısı
$t$	Aylık ortalama sıcaklık derecesi ( $^{\circ}C$ )

## 1. GİRİŞ

Beyşehir Gölü Havzası, İç Anadolu Bölgesi'nin en büyük kapalı havzası olan Konya Kapalı Havzası'nın en önemli bileşenlerindedir. Havza içinde ve Göl'ü ikiye bölen iki adet milli park bulunmaktadır. Aşırı su kullanımı, kirlilik, kıyı kenar çizgisi tespiti ve üst ölçekli planların olumsuz etkileri, yönetim ve planlama sorunları havzadaki başlıca sorunlardır. Canlıların yaşayabilmesi için su vazgeçilmez bir ihtiyaçtır. Hızlı şehirleşme, sanayileşme, artan nüfusun beslenmesi, tarım gelirlerinin artırılabilmesi için suya olan ihtiyaç her geçen gün daha da artmaktadır.

Ülkemizde yıllık ortalama yağış yaklaşık 643 mm olup, yılda ortalama 501 milyar m<sup>3</sup> suya karşılık gelmektedir. Bu suyun 274 milyar m<sup>3</sup>'ü toprak ve su yüzeyleri ile bitkilerden olan buharlaşma yoluyla atmosfere geri dönmekte, 69 milyar m<sup>3</sup>'lük kısmı yeraltı suyunu beslemekte, 158 milyar m<sup>3</sup>'lük kısmı ise akışa geçerek çeşitli büyüklükteki akarsular vasıtasıyla denizlere ve kapalı havzalardaki göllere boşalmaktadır. Yeraltı suyunu besleyen 69 milyar m<sup>3</sup>'lük suyun 28 milyar m<sup>3</sup>'ü pınarlar tarafından yerüstü suyuna tekrar katılmaktadır. Ayrıca, komşu ülkelerden ülkemize gelen yılda ortalama 7 milyar m<sup>3</sup> su bulunmaktadır. Bu sayede ülkemizin brüt yerüstü suyu potansiyeli 193 milyar m<sup>3</sup> olmaktadır. Yeraltı suyunu besleyen 41 milyar m<sup>3</sup> su da dikkate alındığında, ülkemizin toplam yenilenebilir su potansiyeli brüt 234 milyar m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır. Ancak, günümüz teknik ve ekonomik şartları çerçevesinde, çeşitli amaçlara yönelik olarak tüketilebilecek yerüstü suyu potansiyeli yurt içindeki akarsulardan 95 milyar m<sup>3</sup>, komşu ülkelere yurdumuza gelen akarsulardan 3 milyar m<sup>3</sup> olmak üzere yılda ortalama toplam 98 milyar m<sup>3</sup>'tür. 14 milyar m<sup>3</sup> olarak belirlenen yeraltı suyu potansiyeli ile birlikte ülkemizin tüketilebilir yerüstü ve yeraltı su potansiyeli yılda ortalama toplam 112 milyar m<sup>3</sup> olmaktadır (DSİ, 2010).

Coğrafi Bilgi Sistemleri; konuma dayalı gözlemlerle elde edilen grafik ve grafik-olmayan bilgilerin toplanması, saklanması, işlenmesi ve kullanıcıya sunulması işlevlerini bir bütünlük içerisinde gerçekleştiren bir bilgi sistemidir. Coğrafi bilgi sistemleri, konuma bağlı mevcut bilgilerin istenen mantıksal yapıda sorgulanmasına imkan sağladığı gibi, değişik amaçlı ve farklı özellik gösteren yeni bilgilerin türetilmesine de imkan verir (Yomralıoğlu 2000). Coğrafi Bilgi Sistemleri

yardımıyla ArcGIS 9 (ArcMap Versiyon 9.3) programı kullanılarak Beyşehir Havzasına ait harita verileri işlenerek bilgisayar ortamına aktarılmıştır.

Bu çalışmada, Konya ilinin batısında bulunan Beyşehir Havzası'nın yeraltısuyu akım modeli oluşturulmuştur. Çalışma ile 2011 yılı için ovanın su bütçesi hesaplanmıştır. Su bütçesinin belirlenmesi için de çalışma alanının jeoloji, hidroloji, hidrojeoloji gibi kısımları incelenerek Groundwater Vistas (GV) platformu altında çalışan MODFLOW-2000 (Harbough et al., 2000) programı ile yeraltısuyu akım modeli oluşturulmuştur.

Beyşehir Havzasındaki birimler stratigrafik özelliklere göre ayrılarak sütun kesiti ve genel jeoloji haritası hazırlanmıştır. Çalışma alanında hidrojeolojik birimler sondaj kuyularına ait kuyu loglarından elde edilen bilgiler ışığında arazi gözlemlerine bağlı olarak incelenmiştir. Çalışma alanında yeraltısuyu bütçesinin belirlenebilmesi için yeraltısuyu akım modeli oluşturulmuştur.

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Dünyada kullanılabilir tatlısu miktarının giderek azalması ve dünya nüfusundaki hızlı artış sebebiyle tatlısuya olan ihtiyaç günden güne artmaktadır. Tatlısuya olan ihtiyacın artması, kaynakların daha iyi yönetilmesini zorunlu kılmaktadır. Postel (1996), yılda kişi başı su potansiyelinin 1.700 m<sup>3</sup>'den düşük olduğu ülkeleri "su fakiri", 1.000 m<sup>3</sup>'den düşük olduğu ülkeleri de "su kıtlığı" olan ülke olarak tanımlamıştır. Ülkemizin 2011 nüfusu yaklaşık 74 milyon ve kişi başına düşen su miktarı ise 1566 m<sup>3</sup>/yıl dır. Bu rakamlar ülkemizin su azlığı çeken bir ülke olduğunu göstermektedir. 2023 yılı için nüfusumuzun 100 milyon ve kişi başına düşen kullanılabilir su miktarının 1125 m<sup>3</sup>/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.

### 2.1. Göl - Yeraltısuyu İlişkisi ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Yeraltısuyu modellemesi ile ilgili çalışmalar 1988 yılında MODFLOW (McDonald and Harbaugh, 1988) programının ortaya çıkmasıyla büyük bir ivme kazanmıştır. Bu tezde özellikle 2000 yılından sonra yapılan modelleme çalışmalarının kısa bir özeti kronolojik ve alfabetik sıraya göre verilmiştir.

Atilla (2002), 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 yeraltısuyu çekiminin 1976 yılından sonra arttığını, özellikle 1990 yılından sonra piyezometre seviyelerindeki düşüşlerin çok olduğunu belirtmiştir.

Palma (2003) Nigaragua'nın kuzeybatısında bulunan ve 1300 km<sup>2</sup>'lik yüzey alanına sahip ülkenin en önemli yeraltı rezervuarını oluşturan Leon-Chinandega akiferini Modflow matematik modeli ile modellemiştir. Yazar, çalışmada 330 km<sup>2</sup>'lik alt havzasının yeraltısuyu akımını modellemiştir.

Yavuz (2004), Çavdarhisar Havzası'nın (Kütahya) Hidrolojisi ve Yeraltısuyu Akım Modeli isimli yüksek lisans tezinde Thornthwaite ve Turc yöntemlerini kullanarak havzanın hidrolojik özelliklerini belirlemiş ve bütçe hesapları sonucunda elde edilen süzülme değerlerini kullanarak yeraltısuyu akım modelini oluşturmuştur.

Soyaslan (2004) Eğirdir Gölü su toplama havzasında bulunan Hoyran ve Yalvaç-Gelendost ovalarında hidrojeoloji çalışması yaparak stratigrafik-petragrafik özelliklere göre çalışma alanını sekiz farklı birime ayırmıştır. Bu birimleri alttan üstte doğru; Sultandede formasyonu, Hacılabaz formasyonu, Anamas formasyonu, Hoyran Ofiyoliti, Neojen yapı oluşturan Bağkonak, Yarıkkaya ve Göksöğüt formasyonu ile tüm birimleri örten yamaç molozu ve alüvyon olduğunu belirtmiştir. Çalışma alanında DMİ'ye ait yağış verileri kullanılmış, yıllık aritmetik ortalama, Thiessen ve eş yağış eğrileri yöntemi kullanılarak ortalama yağış miktarını hesaplamıştır. Buharlaşma değerleri de Thornthwaite, Blaney-Cridle ve Schendel yöntemleriyle hesaplanmıştır. Araştırmacı çalışma alanının su bütçesini; Hoyran ve Yalvaç-Gelendost havzalarından beslenme ve boşaltım miktarları eşittir kabulünü yaparak emniyetli kullanılacak yeraltısuyu miktarını Yalvaç-Gelendost ovaları için 63,71x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/yıl, Hoyran Ovası'nda da 24,93x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/yıl olarak hesaplamıştır. Araştırmacı çalışma alanında yer alan alüvyon biriminin serbest akifer, kireçtaşlarının ise karstik akifer özelliği taşıdığını belirtmiştir. Ayrıca yeraltısuyu seviye haritası hazırlayarak her iki havzadaki yeraltısuyu akım yönünün güneybatı yönünden Eğirdir Gölü'ne doğru olduğunu belirtmiştir. Yeraltısuyu akım modelinde, Modflow programını kullanmıştır. Sonuç olarak, yeraltısuyu boşalımının serbest yüzeyli akifer ile Eğirdir Gölü'ne doğru yıllık 114x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> olduğunu hesaplamıştır.

Dişli (2005) Afyonkarahisar Şuhut Ovasında evrik modelleme yaklaşımı ile hidrojeolojik sistem için oluşturulan yeraltısuyu akım modelinde tanımlanan hidrolik yük ile arazide gözlenen hidrolik yük değerleri arasındaki farkı minimum yapacak şekilde bir kalibrasyon yapmıştır. Bu çalışmada Şuhut Ovasının heterojen yapı

gösteren akifer düşey akım bileşenlerini de dikkate alarak 4 model tabakası oluşturmuştur. Her bir model tabakası da litolojik özellikler bakımından 7 ayrı tabakaya ayırmıştır. Modflow matematik modeli ile girdi ve çıktı dosyaları oluşturmuş, bu dosyalarında yer alan parametre ve hidrolik yük değerlerini, doğrusal olmayan evrik optimizasyon yöntemi (PEST) programında kullanarak akifer parametre değerlerini hesaplamıştır.

Idrissy and Smedt (2006) Fas'ın kuzeybatısında en verimli ova olan Trifa Ovası'ndaki Trifa akiferini modellemişlerdir. Araştırmada, sulama gereksinimlerinin artmasından dolayı yeraltısuyunun içme suyu ve tarımsal ihtiyaçları karşılamak için ikinci bir kaynak olarak kullanıldığı, özellikle kurak dönemlerde bu kullanımdan dolayı kaynakların tükenmesine neden olduğu belirtilmiştir. Trifa Ovası için hidrolik, hidrojeolojik bir model geliştirmişler ve modelde Modflow, Wetspass programlarını kullanmışlardır. Modeli, 1993–1998 yıllarında kararlı hal için çalıştırmışlardır. Modelleme ile akiferi iki tabakaya bölmüşler, kuvaterner ve geçirgen ikincil oluşumlar olarak ayırmışlardır. Araştırmacılar, üstteki tabakanın kuvaterner çöküntüyü temsil ettiğini, Hassi Smia fayının güneyinde ovanın ortasında 30 m ile yaklaşık 200 m arasında değişken kalınlığa sahip olduğunu, alt tabakanın ise; kuzeyden güneye doğru farklılık gösterdiğini, kuzeyde geçirimsiz tersiyer formasyondan dolayı bu bölgenin etkin olmadığını, güneydeki kısmının kuvaterner geçirimli ikincil çöküntü şeklinde olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmanın sonucunda araştırmacılar, Trifa Ovası'nda yeraltısuyu kaynaklarının sürdürülebilirliğini tahmin etmek için modelin kullanışlı olduğuna da değinmişlerdir.

Kulak (2006) KKTC'nin kuzeydoğusunda yer alan Karpaz Yarımadası'nda içme suyunun temin edildiği Yeşilköy akiferinin mevcut durumunu Groundwater Modeling System(GMS) 4.0 paket programı ile üç boyutlu akım modelini yapmıştır. Model ile akiferin mevcut durumu, yapılacak su çekimlerine bağlı olarak gelecekteki durumu hakkında sonuçları çalışmasında belirtmiştir.

Dişli (2007) Ankara ilinin güneyinde bulunan Gölbaşı ilçesindeki Mogan ve Eymir göllerinde endüstriyel tesislerden kaynaklanan atıkların atılması sonucunda kirlenmenin olduğunu belirtmiştir. Bu iki göl arasında yer alan inceleme alanında, hidrojeolojik yapıyı tanımlamak, bu yapı içerisinde gerçekleşen yeraltısuyu akımını ve

kütle taşınımının fiziksel-kimyasal parametrelerinin belirlemek için çalışmıştır. Mogan ve Eymir gölleri arasında yer alan akifer sistemindeki yeraltısuyu akımı ve kütle taşınım süreçlerinin modellenmesinde Modflow–2000 sonlu farklar matematik modeli programını kullanmıştır. Yaklaşık olarak 7,86 km<sup>2</sup>'lik alanı kaplayan model alanında 60 sütun ve 210 satır olmak üzere toplam 12.600 adet hücreden oluşan grid ağı ile her bir hücreyi 25mx25m'lik alanı temsil edecek şekilde oluşturmuştur. Yazar, yeraltısuyu akım modeli sonucunda, Mogan Gölü'nden yeraltısuyuna olan boşalımı yaklaşık olarak saniyede 0,00084 m<sup>3</sup> ve Eymir Gölü'ne olan yeraltısuyu girdisini ise saniyede 0,00046 m<sup>3</sup> olarak hesaplamıştır.

Elçi vd. (2007) İzmir'in Torbalı İlçesindeki Torbalı Ovası'nın yüzeysel akiferi için tek katmanlı ve iki boyutlu matematiksel akım modeli geliştirmişlerdir. Ovada 28 noktada yeraltısuyu ölçümü yapmışlardır. Çalışma sahasında hidrojeolojik özellikler dikkate alınarak modelleme alanını beş farklı hidrolik iletkenlik ve akifer beslenme bölgesine ayırmışlardır. Kalibrasyonu tamamlanmış akım modeli ile Torbalı Ovası yüzeysel akiferi için yeraltısuyu seviyesi dağılımını hesaplamışlardır. Buna bağlı olarak da Torbalı Ovası için su bütçesi hesaplarını yapmışlardır.

Karadaş vd. (2007) İzmir'in su ihtiyacının %36'sını karşılayan Tahtalı Baraj Gölünü besleyen Tahtalı Çayı havzasındaki yeraltısuyu seviyesinin değişiminin matematiksel modelini oluşturmuşlar ve bu amaçla Modflow–2000 programını kullanmışlardır. Modelin kalibrasyonu için inceleme alanında 51 adet kuyuda yeraltısuyu seviye ölçümü yapılarak, modelin çıktılarıyla yeraltısuyu seviye ve akım yönü haritalarını oluşturmuşlardır. Araştırma sonucunda, Nif Dağı ile Tahtalı Gölü arasında hidrolik bağlantının olduğunu ve Tahtalı baraj gölü yakınındaki yeraltısuyu akım yönlerinin incelenmesiyle göle önemli oranda yeraltısuyunun girdiğini tespit etmişlerdir.

Pisinaras et al. (2007) Yunanistan'ın kuzeydoğusunda yer alan İsmarida Ovası'nın tarımsal sulamasında kullanılan akifer sistemini modellemişlerdir. Çalışmada yeraltısuyu bileşenlerini ve akifer sisteminin karakteristiklerini belirleyerek su bütçesini hesaplamışlardır. Akiferin yeraltısuyu akış davranışını Modflow matematik modeli ile modelleyerek, modelin kalibrasyonu sonucunda gözlenen su seviyeleri ile model sonuçlarının mükemmel biçimde eşleştiğini çalışmalarında bahsetmişlerdir. Model sonuçlarına göre yeraltısuyu seviyelerin ciddi düşüşlerini durdurmak için

akiferden pompajla su çekiminin yaklaşık %33 oranında azaltılması gerektiğini belirtmişlerdir.

Tufan (2007) İstanbul'un batısında Bakırköy ilçe sınırları içerisinde yer alan Bakırköy havzasındaki içme ve kullanma suyu olarak kullanılan Çukurçeşme akiferinin mevcut durumunu ve son 45 yıl içinde göstermiş olduğu değişimleri GMS (Groundwater modeling system) 4.0 paket programı ile üç boyutlu olarak modellemiştir. Modeli, 1981 yılına ait ölçüm değerlerine bağlı olarak oluşturmuş ve model sonucunda akiferin toplam hacminin 205.106.115 m<sup>3</sup> olarak hesaplamıştır.

Yağbasan (2007) Ankara'nın 20 km güneyinde bulunan Mogan ve Eymir Göllerinin bütçesindeki yeraltısuyu miktarını, havzadaki iklim değişimlerinin göller ve yeraltısuyu seviyeleri üzerine etkilerini belirlemeye çalışmıştır. Bunun için de Modflow üç boyutlu yeraltısuyu akım modelini kullanmıştır. Modeli, kararsız akım koşullarında 6 yıllık sürede aylık süreler göz önüne alarak kalibre etmiş ve model sonucunda 6 yıllık sürede (Ekim 1998-Eylül 2004) çalışma alanının su bütçesini hesaplamıştır. Buna göre; toplam beslenimi 61,71x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> /yıl, toplam boşalımı 88,33x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> /yıl ve de akiferdeki ortalama rezerv değişiminin 26,62 x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> /yıl olarak tespit etmiştir. Bu değişimdeki en büyük nedenin, buharlaşma sonucu meydana gelen kayıp olduğunu belirtmiştir.

El-Bihery (2008) Mısır'daki Ras Sudr bölgesindeki kuvaterner akiferin üç boyutlu yeraltısuyu akım modelini oluşturmuştur. Bunun için de Modflow sayısal programını kullanmıştır. Modelleme ile akiferdeki yeraltısuyunun hidrokimyasını belirlemiş, akiferin hidrolik parametrelerini ve beslenimini hesaplamaya çalışmıştır. Araştırmacı modelleme sonucunda; yeraltısuyu akış yönünün doğudan batıya doğru olduğunu, akiferin besleniminin 3,9x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/yıl, hidrolik iletkenlik değerlerinin 3,05 m/gün ile 3,35 m/gün arasında değiştiğini, yeraltısuyu kullanımının yaklaşık olarak 6,49x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/yıl olduğunu belirtmiştir.

Erdemli (2008) Uşak ilindeki Ulubey akiferini Modflow programı ile modellemiştir. Oluşturulan model ile yeraltısuyu bütçesindeki eksik bileşenlerin hesaplanabilmesi, gelecekte artacak olan ihtiyaca göre sulama ve kullanma suyunu karşılamak için yeraltısuyundan yapılacak çekimlerin etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla yazar, 20



yıllık bir dönem için kararsız akım koşullarında üç adet yönetim senaryosu oluşturmuştur. Modellemeye göre ele alınan üç senaryo sonucunda Ulubey akifer sisteminin su seviyelerinde ve yeraltısuyu rezervinde önemli değişikliklere sebep olmadığını belirtmiştir. Ayrıca; çalışmada model alanının toplam su bütçesini hesaplayarak, beslenme ve boşalımı  $191,15 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$  olarak bulmuştur. Kouame et al. (2008) Fildişi Sahilleri'nin en büyük şehri olan Abidjan'daki (Abican) Abidjan akiferinin korunması için yeraltısuyu modellemesi yapmışlardır. Modelleme ile hızla artan nüfusun yeraltısuyu kaynaklarında ciddi sıkıntı yaratması sonucunda Abidjan akiferini ve mevcut yeraltısuyu kaynaklarını ölçmek, riskleri değerlendirmeye çalışmışlardır. İlk olarak 1978 yılında yeraltısuyu seviye ölçümleri ile kararlı akım durumu için Modflow sayısal modeli kullanılarak, modeli kalibrasyonunu yapmışlardır. Modelde grit aralıklarını  $250 \times 250 \text{ m}$  olacak şekilde, 194 sütun ve 106 satırdan oluşturmuşlardır.

Wang et al. (2008) Kuzey Çin Ovası'ndaki su kaynaklarının kıtlığını, su kirliliği ile karşı karşıya kaldığını görmüşler ve bu durumun çözümlerini incelemişlerdir. Çalışmada, ovadaki akifer sistemini bir bütün olarak alıp yeraltısuyu kaynaklarının değerlendirilmesi gerektiğini belirterek ovanın yeraltısuyu akışını Modflow programı ile oluşturmuşlardır. Simülasyon süresi 1 Ocak 2002 ile 31 Aralık 2003 arasında geçmektedir. Yeraltısuyu akım modeli sonucunda su bütçesi analizini yaparak, Kuzey Çin Ovası'nda negatif su bütçesini tespit etmişlerdir. Bu dönemde, yeraltısuyu sisteminin toplam beslenimini  $49,374 \times 10^6 \text{ m}^3$ , toplam boşalımını  $56,530 \times 10^6 \text{ m}^3$  ve su bütçesi açığını da  $7,156 \times 10^6 \text{ m}^3$  olarak hesaplamışlardır.

Ahmed and Umar (2009) Hindistan'ın Uttar Pradesh bölgesinin batısında yer alan içme, kullanma, tarımsal sulama için faydalanılan akiferini incelemişlerdir. Akiferdeki su dengesini değerlendirmek, akış sisteminin davranışının simülasyonunu yapmak için yeraltısuyu akış modelini hazırlamışlardır. Akiferi, Visual Modflow Pro.4.1 programı ile modellemişler ve su bütçesini hesaplamışlardır. Çalışma alanının belirli bölgelerinde hidrolik iletkenlik değerlerinin  $9,8 \text{ m/gün}$  ile  $26,6 \text{ m/gün}$  arasında değiştiğini belirlemişlerdir. 2006 yılı haziran ayı ile 2007 yılı haziran ayı döneminde bölgenin su bütçesi, yapmış oldukları çalışma sonucunda eksik su dengesini göstermiştir. Çalışma alanında toplam beslenimin  $160,21 \times 10^6 \text{ m}^3$ , pompaj yoluyla çekimin ise  $233,56 \times 10^6 \text{ m}^3$  olduğu belirlemişler ve böylelikle  $73,35 \times 10^6 \text{ m}^3$

su bütçesi açığı olduğunu hesaplamışlardır. Araştırmacılar çalışmalarında, yapılan analizlerin modeldeki hidrolik iletkenlik ve beslenme parametrelerine çok duyarlı olduğunu belirtmişlerdir.

Al-Assa'd and Abdulla (2009) Ürdün'ün içme-sulama suyu için büyük bir kaynak ve önemli bir yeraltısuyu havzası olan Mujib akiferini konu almışlardır. Çalışmada, bölgenin su kıtlığını karşılamak ve akiferdeki yeraltısuyu depolamasını geliştirmek için yapay yeraltısuyu beslenimini araştırmışlardır. Modflow programı ile yeraltısuyu modelini oluşturarak, hem kararlı hem de kararsız akım halleri altında modelin kalibrasyonunu yapmışlardır. Model ile Mujib havzasında farklı yeraltısuyu yönetim senaryoları yaparak akiferin korunmasını amaçlamışlar ve farklı yapay beslenme (orta, düşük, yüksek) seçenekleri altında akifer sisteminin durumunu tahmin etmek için üç adet senaryo oluşturmuşlardır.

Ersoy ve Gültekin (2009) yeraltısuyu kullanımının gün geçtikçe arttığı ve buna bağlı olarak yeraltı su seviyelerinin son 15-20 yıl içinde ortalama 20-25 m azaldığı Gümüşhacıköy (Amasya) Akiferi'ne ait yeraltısuyu akım modelini çalışmışlardır. Gümüşhacıköy Akiferi'ne ait yeraltısuyu akım modelinin oluşturulması sırasında, akiferin jeolojik ve hidrojeolojik özelliklerini belirleyerek akifere ait bu parametreleri veri tabanları şeklinde hazırlamışlardır. Bu veri tabanlarını ArcGIS 8.3 Coğrafi Bilgi Sistemleri programında sayısal hale getirerek ArgusONE CBS programı ile akifere ait yeraltısuyu akım modelini oluşturmuşlardır. Model süresi, 1965–2005 yılları arasında kapsamaktadır. Araştırmacılar, Gümüşhacıköy Akiferi'nde hesaplanan değişik yıllara ait hidrolik yük verilerine göre, zaman içerisinde kuyulardan çekimin artmasına bağlı olarak hidrolik yüklerin ovanın doğusuna doğru alçaldığını belirlemişlerdir. Ayrıca hidrolik yük değerleri kullanılarak Modflow programında modelin kalibrasyonunu yapmış elde edilen modelin yeraltısuyu sistemini çok iyi temsil ettiğini ve çalışma sonucunda, gelecekte akiferden çekilecek su miktarının artması durumunda yeraltısuyu seviyeleri daha da alçalacağını belirtmişleridir.

Jaworska (2009) bölgesel yeraltısuyu kaynaklarının geliştirilmesi için Polonya'daki Gdansk hidrojeolojik sistemini matematiksel model ile değerlendirmiştir. Yaklaşık 2800 km<sup>2</sup>'lik bir alanı kaplayan araştırma alanında, kretase, paleojen, neojen formasyonlarda yeraltısuyunun bulunduğu belirtilmiştir. Modflow programı ile

1700'ün üzerindeki sondaj kuyusunun verilerine dayanarak üç boyutlu kararlı akım hali için model geliştirerek, model sonucunda sistemin beslenmesinin ağırlıklı olarak yağıştan meydana geldiğini (sızma beslenimi 136 mm/yıl) belirtmiştir.

Jusseret et al. (2009) Vietnam'ın Hanoi Şehri sığ akifer sisteminde çeşitli beslenme kaynaklarının önemini değerlendirmek ve akifere yakın olan Kızıl Nehir ile arasında yeraltısuyu etkileşimini tahmin etmek için 1995–2004 yılları arasındaki verilere bağlı olarak yeraltısuyu akımını modellemişlerdir. Hidrografik ve hidrojeolojik verilere ek olarak tüm kuvaterner sırayı kaplayan 32 sondaj verisine dayanarak modeli oluşturmuşlar ve modeli hem kararlı akım hali, hem de zamana bağlı olarak değişen akım koşullarına göre test etmişlerdir.

Kallioras et al. (2009) Yunanistan'ın kuzeyinde bulunan tortul akiferin yeraltısuyu akım modelini oluşturmuşlardır. Simülasyon, Nisan 2003 ve Nisan 2004 yıllarını kapsamaktadır. Yeraltısuyu akım modelinde Modflow programını kullanarak, modeli 35 satır ve 40 sütun, grid aralığını da 400mx400m olarak belirlemişlerdir. Modelleme sonucunda, akifer sisteminin besleniminin  $17,468 \times 10^6 \text{ m}^3$  olduğunu ve bunun da toplam yeraltısuyu besleniminin % 48,52 sini oluşturduğunu, sızmalar sonucunda ise akiferin besleniminin  $7,254 \times 10^6 \text{ m}^3$  olduğunu belirtmişlerdir.

Karadaş (2009) Tahtalı Havzası ve yakın çevresinin bölgesel yeraltısuyu akım modeli geliştirmiştir. Bölgedeki yeraltısuyu seviyelerinin matematiksel modelini oluşturarak mevsimsel yeraltısuyu değişiminin alansal dağılımını belirlemiştir. Modeli, iki boyutlu olarak kararlı akım koşullarında yüzeysel akifere uygulayarak modellemiştir. Tahtalı Havzasını temsil eden beslenme alt bölgesinin, yeraltısuyu beslenimini belirlemek için matematiksel yağış-akış modelini kullanmıştır. Model sonucuna göre yazar, bütçe hesabında beslenimin tüm çalışma alanındaki yeraltısuyu girdisinin %20'sini oluşturduğunu tespit etmiştir.

## **2.2. Beyşehir Gölü ile İlgili Yapılan Önceki Çalışmalar**

Beller (1987), Beyşehir içmesuyu arıtma tesisinin, gölsuyunu ne derecede artılabildiği tespit edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca, su kalitesinde görülen bozuklukların sebepleri araştırmış ve işletmecilikten ileri gelenlerin düzeltilmesi, tesisten ileri gelenlerin ise,

tesise yapılacak basit, ekonomik ve uygulanabilir ilavelerle düzeltilmesi gerektiğini vurgulamıştır.

Novinpour (1987), Beyşehir Gölünün doğusunda yaptığı çalışmada bölgedeki su kaynaklarının beslenme, köken, fiziksel ve kimyasal özelliklerini araştırmak amacıyla yaklaşık 173 km<sup>2</sup>'lik bir alanda jeolojik ve hidrojeolojik incelemeler yapılmıştır. Doğancıklı, Sevindik ve Sadıkhacı (Beyşehir) köyleri çevresinde, 1970-1987 yılları arasındaki ortalama yıllık yağış ve sıcaklık verileri incelenmiştir.

Ceyhan (1998) Bu araştırma Beyşehir Gölünü besleyen 16 adet su toplama havzasından ikisi olan Soğuksu-Yeşildağ ve Üstünler Çayı Su toplama havzalarının hidrolojik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Araştırmada Soğuksu-Yeşildağ ve Üstünler su toplama havzalarının hidrolojik toprak grupları, fiziksel karakteristikleri, alansal yağmur ortalamaları, şiddetli yağmurların tekrarlanma süreleri, havza su verimleri saptandıktan sonra yağmurların eğilim analizleri yapılmıştır. Araştırma sonunda Soğuksu- Yeşildağ ve Üstünler çayı su toplama havzalarının topraklarının hidrolojik yönden B ve C grubu olduğu saptanmıştır. Soğuksu- Yeşildağ ve Üstünler su toplama havzalarının verimleri SCS yöntemine göre hesaplanmıştır.

Mercan (2006) Bu çalışmada, Beyşehir Gölü'nün hidrodinamik modeli, ısı ve su dengesi kurulmuştur. Kurulan üç boyutlu hidrodinamik modeli on yıllık kesintisiz bir dönem (1992-2001 su yılı), en kurak bir yıllık dönem (2001 su yılı), en sulak bir yıllık dönem (1996 su yılı) ve ortalama bir yıllık dönem (1998 su yılı) olmak üzere dört ayrı durum için çalıştırılmıştır. Kurulan model yardımıyla, göldeki su hareketi ve bu su hareketlerine etki eden parametreler belirlenmiştir. Ayrıca gölde modellenen hidrodinamik olayların yıldan yıla değişimi ve gidişatı özetlenmiştir. Bu çalışmada uzun süreli modelleme kullanılmasıyla göl yönetimine yeni bir bakış açısı getirilmiştir.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Çalışma Alanı

Beyşehir Gölü, Konya-Beyşehir İlçesi'nin kuzeyinde, Isparta-Şarkikaraağaç İlçesi'nin güneyinde ve Sultan Dağları ile Anamas Dağları arasındaki tektonik çukurlukta yer alan tektonik kökenli ülkemizin en büyük tatlı su gölüdür. Gölün 523 km<sup>2</sup>'si Konya ili, 130 km<sup>2</sup>'si ise Isparta ili sınırları içerisinde bulunmaktadır. Gölün en derin yeri 11 m.'yi bulmakla beraber ortalama su derinliği 8.5 m. civarındadır. Şekil 3.1'de 37° 45' Kuzey 31° 36' Doğu coğrafi koordinatlarında olan Beyşehir Gölü'nün yeri gösterilmiştir.

Göl ve çevresi; Milli Park Koruma Alanı, içme ve Sulama Suyu Rezervi Koruma Alanı, uluslararası önemi olan A grubu sulak alan, tarihi ve kültürel zenginliği bakımından SİT Alanı kapsamındadır. Yaban hayatı, doğal güzellikleri ve tarihi değerleri ile göllerimiz içerisinde özel bir yeri vardır. Beyşehir Gölü; irili ufaklı adalara, kumsallara, karstik mağaralara ve endemik türlerle dolu bir bitki örtüsüne sahiptir.

Gölün beslenimi; Sultan Dağları ve Anamas Dağları'ndan inen çaylar ve dereler, güneyindeki ve batısındaki mezozoik kalkerlerin çatlaklarından gelen pınarlar, doğrudan göl yüzeyine düşen yağışlar ve noktasal olmayan yüzeysel akışlarla olmaktadır. Göle ulaşan önemli akarsular; Hizar, Büyükçay, Soğuksu, Üstünler, Karadiken, Sarısu, Eflatun, Ebulvefa, Çavuşköy, Ozan, Çeltek, Girlevik olarak sayılabilir.

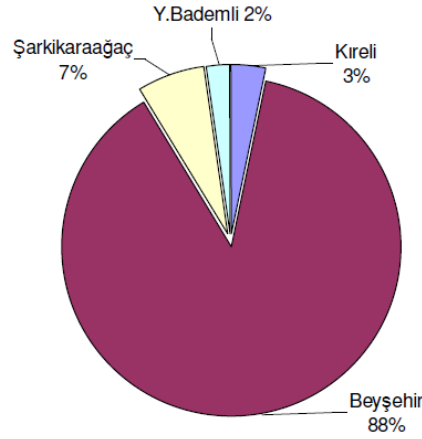
Gölün en büyük çıkışı ise Çarşamba Çayı iledir. Gölden Yenişarbademli, Kireli ve Şarkikaraağaç'da bulunan pompa istasyonlarından da su çekilmektedir. 2003 yılında toplam; Şarkikaraağaç sulaması için; 20,5 milyon m<sup>3</sup>, Yenişarbademli sulaması için 6,5 milyon m<sup>3</sup>, Kireli sulama suyu için 10 milyon m<sup>3</sup>, Beyşehir çıkışından 275 milyon m<sup>3</sup>, toplam 312 milyon m<sup>3</sup> su Beyşehir Gölü'nden çekilmiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3. 1. Çalışma alanının harita üzerindeki konumu (Google Earth, 2012)

Beyşehir Gölü'nün hacmi yaklaşık 5,4 milyar  $m^3$ 'dür. IECO-AKNIL tarafından yapılan su kaynakları master planında gölün güvenilir su verimi 293 milyon  $m^3$  olarak hesaplanmıştır (IECO-AKNIL, VI-7, 1966) . Beyşehir Gölü'nün alanı Konya ve Isparta il sınırları içerisinde ve göl suları altında bulunan tepe uzantılarının oluşturduğu büyüklü küçüklü 32 ada bulunmaktadır. Büyük adalar genellikle gölün batısında yer almaktadır. En önemlileri Mada, İğdeli, Orta, Aygır, Hacıakif ve Keçi

Adaları'dır. 1960-2001 göl rasat periyodunda, göl su seviyesinin en düşük kotu; Ekim 1934'de 1120.85 m. olarak tespit edilmiştir. Bu seviyedeki göl alanı 645 km<sup>2</sup>'dir. Aynı rasat periyodundaki en yüksek su seviyesi, Mart 1981'de 1125.50 m. olarak gerçekleşmiştir. Bu kottaki göl alanı 746 km<sup>2</sup>'dir. 2011 yılı sonu göl kotu 1123.03 m. ve göl alanı 663 km<sup>2</sup>'dir.



Şekil 3. 2. Beyşehir Gölü'nden çekilen suyun dağılımı

### 3.2. Çalışma Alanının Hidrolojisi

Beyşehir Gölü Havzası; Konya kapalı havzasının batısında yer alan kurak-yarı nemli ve birinci mezotermal iklim tiplerine girer. Akdeniz ile Orta Anadolu'nun geçiş bölgesinde yer aldığından göle yakın bölgelerde Gecikmiş Akdeniz veya Akdeniz Ardı İklimi özellikleri görülür. Gölden uzak dağlık kesimlerde karasal İç Anadolu İklimi özelliği görülmektedir. Çalışma alanı, morfolojik olarak kapalı bir havza görünümünde olmakla birlikte, yüzey suyu yönünden doğudaki Çarşamba Suyu ile önce Suğla Ovasına ve daha sonra Konya Ovasına sularını drene etmektedir (Tüstaş, 1999).

#### 3.2.1. Yağış

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, Çeltek, Gedikli, Yeşildağ ve Gölyaka'da yağış-buharlaşıma, diğerlerinde ise yağış rasadı yapılmaktadır. Meteoroloji istasyonlarına ait özet bilgiler Çizelge 3.1.'de verilmiştir

Çizelge 3. 1. Beyşehir Gölü Havzası ve yakın çevresinde bulunan meteoroloji istasyonları

No	İstasyon Adı	İşleten Kuruluş	Yapılan Gözlemler	Çalıştığı Yıllar	Yağış (mm)		
					Ort.	Mak.	Min.
1	Beyşehir	DMİ	Tam teşekküllü	1933 - Açık	467,9	715,7	302,6
2	Seydişehir	DMİ	Y - S	1945 - Açık	731,2	1164,4	389,2
3	Gencek	DMİ	Y	1964 - Açık	778,2	1053,3	523,6
4	Hüyük	DMİ	Y	1959 - Açık	496,3	657,3	287,9
5	Üzümlü	DMİ	Y	1963 - Açık	709,4	1030,1	487,6
6	Doğanbey	DMİ	Y	1963 - Açık	478,2	693,8	325,0
7	Kızılören	DMİ	Y	1963 - Açık	428,2	617,0	304,4
8	Şarkikaraağaç	DMİ	Y - S	1930 - Açık	443,2	730,4	185,8
9	Yenişarbademli	DMİ	Y	1966 - Açık	809,2	1265,7	488,4
10	Tolca	DSİ	Y - B	1975 - Açık	471,3	765,0	257,2
11	Huğlu	DSİ	Y	1966 - Açık	842,6	1403,9	580,0
12	Derebucak	DSİ	Y	1976 - Açık	945,9	1449,6	672,9
13	Kızılca	DSİ	Y	1966 - Açık	537,7	796,8	325,6
14	Kurucaova	DSİ	Y - B	1963 - 1972	796,4	1061,7	334,0
15	Yatağan	DSİ	Y	1960 - Açık	587,6	918,8	286,5
16	Gedikli	DSİ	Y - B	1975 - Açık	597,5	813,8	457,5
17	Çeltek	DSİ	Y - B	1967 - Açık	427,1	544,7	300,4
18	Dumanlı	DSİ	Y	1975 - Açık	1281,0	1872,9	800,1

Beyşehir Gölü su toplama alanı ve yakın çevresindeki yağışlar, genellikle kış ve ilkbahar aylarında düşer. Kış aylarında çoğunlukla kar şeklindedir. Yağışlar güneybatıdan kuzeydoğu istikametine gidildikçe azalmaktadır. Beyşehir Gölü

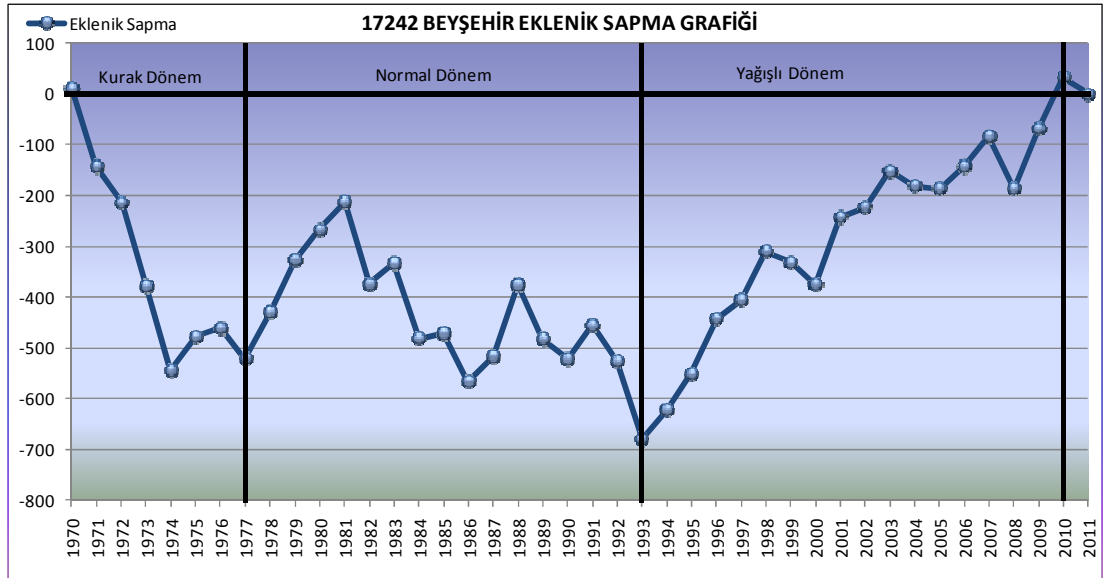
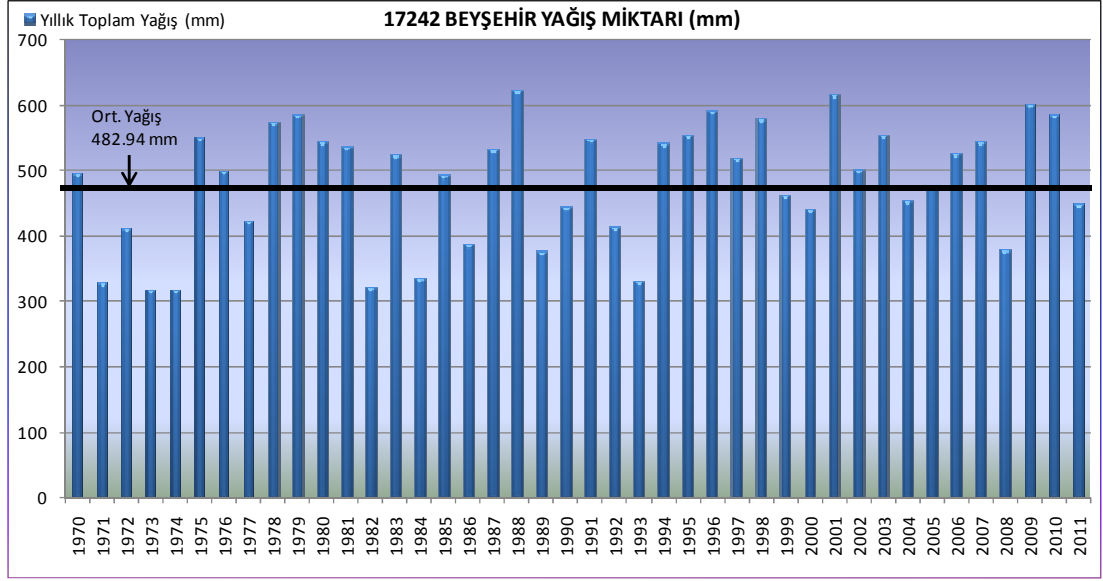


etrafındaki istasyonlara ait uzun yıllar aritmetik ortalama yağış değerleri Çizelge 3.2.'de verilmiştir.

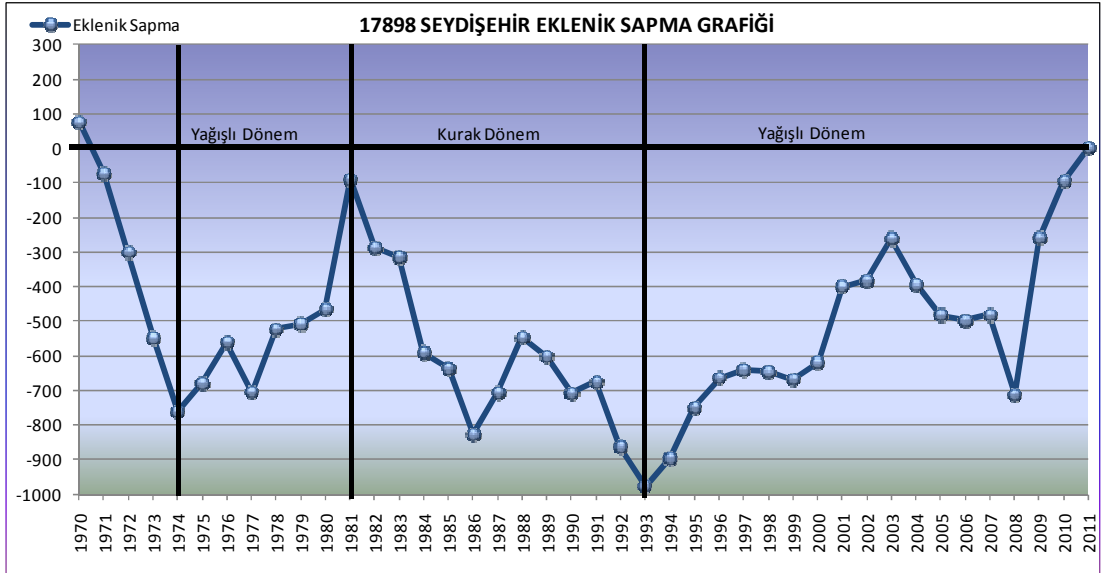
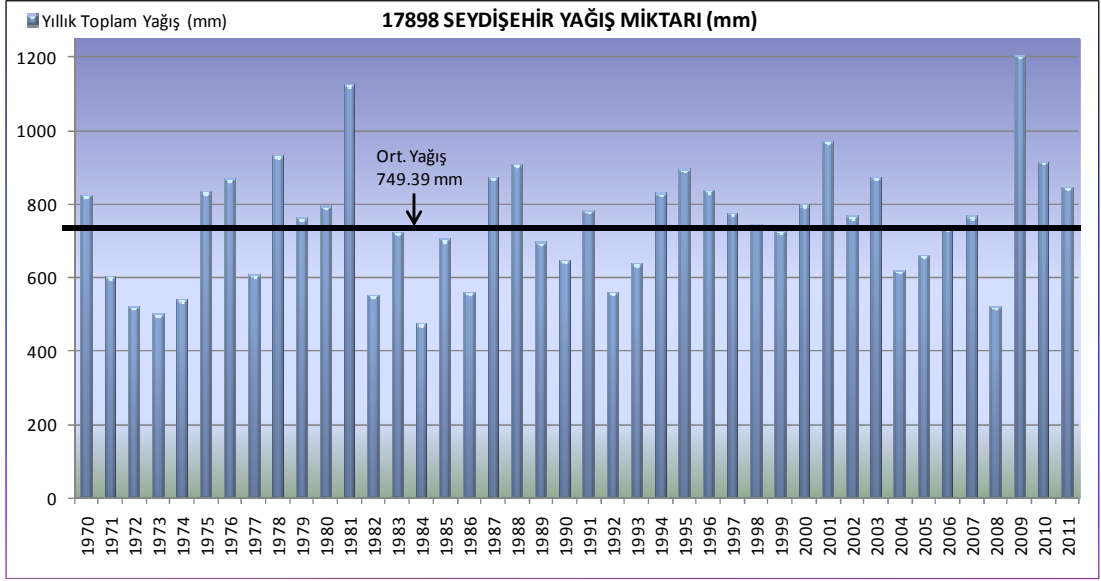
Çizelge 3. 2. Beyşehir Gölü etrafındaki istasyonlara ait uzun yıllar ortalama yağış değerleri

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

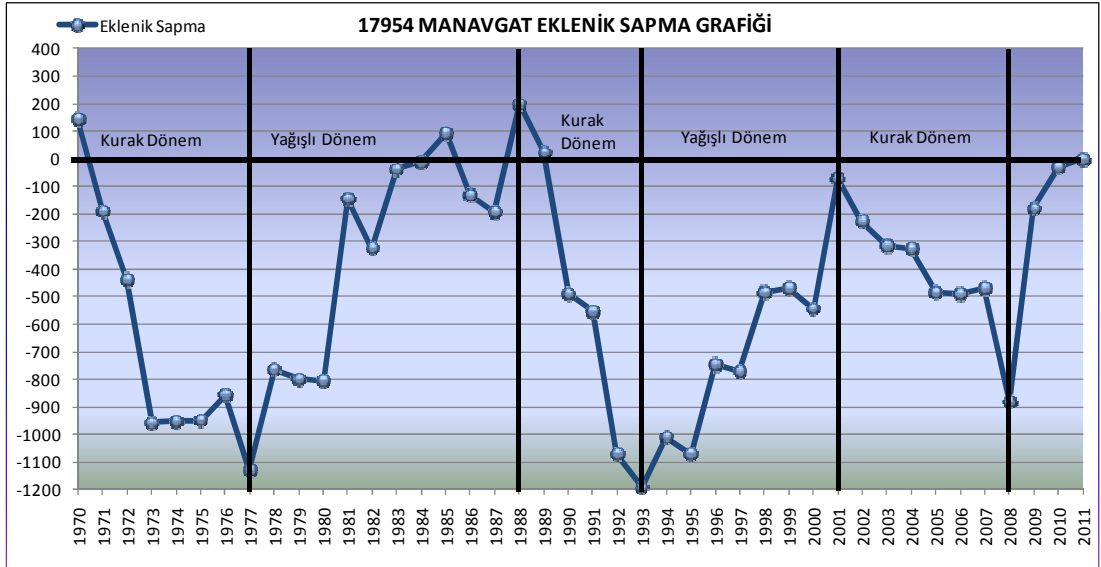
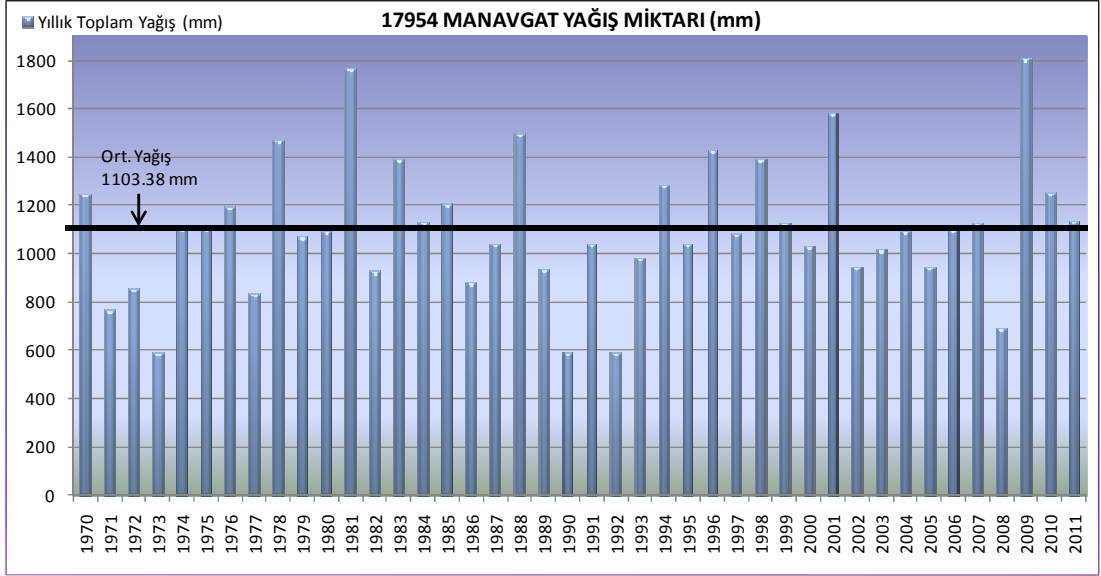
Ayrıca Beyşehir, Seydişehir, Manavgat, Yatağan, Konya, Isparta ,Yalvaç, Yenişarbademli, Cumra, Huğlu, Gedikli, Gölyaka ve Yeşildağ istasyonları için hazırlanan yıllık toplam yağış ve eklenik sapma grafikleri Şekil 3.3'de verilmiştir. Eklenik sapma grafiklerine bakılarak hangi dönemler yağışlı, kurak yada normal dönem olduğu görülebilir.



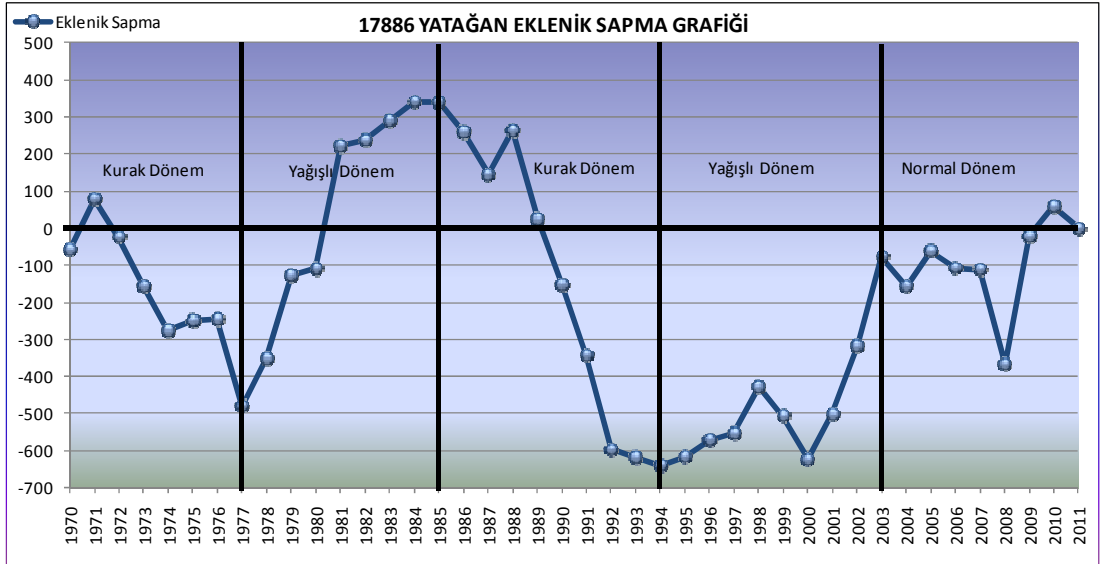
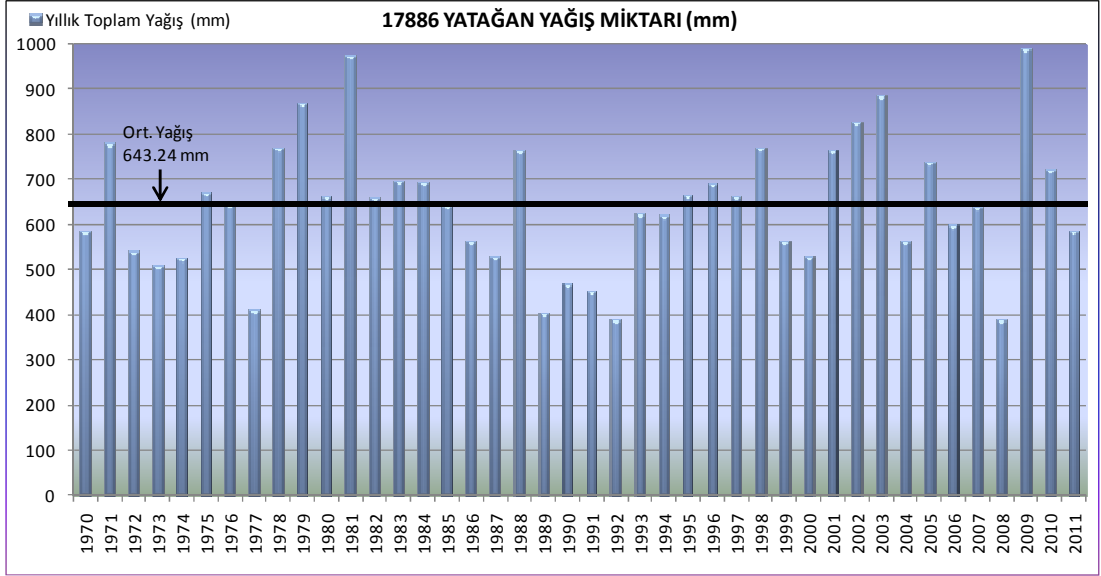
Şekil 3. 3. Beyşehir istasyonu yıllık toplam yağış ve eklenik sapma grafiği



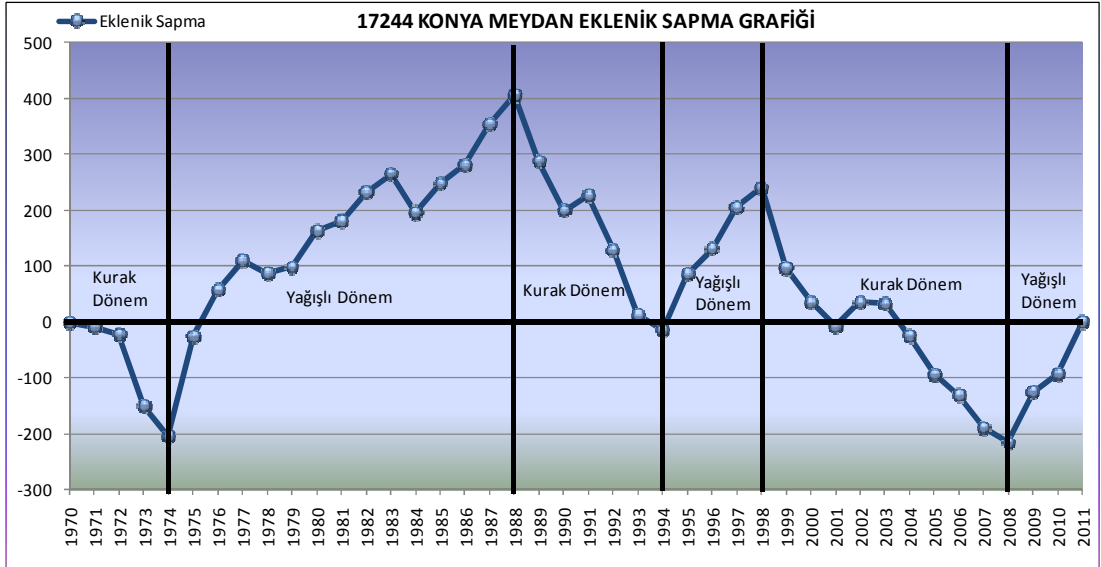
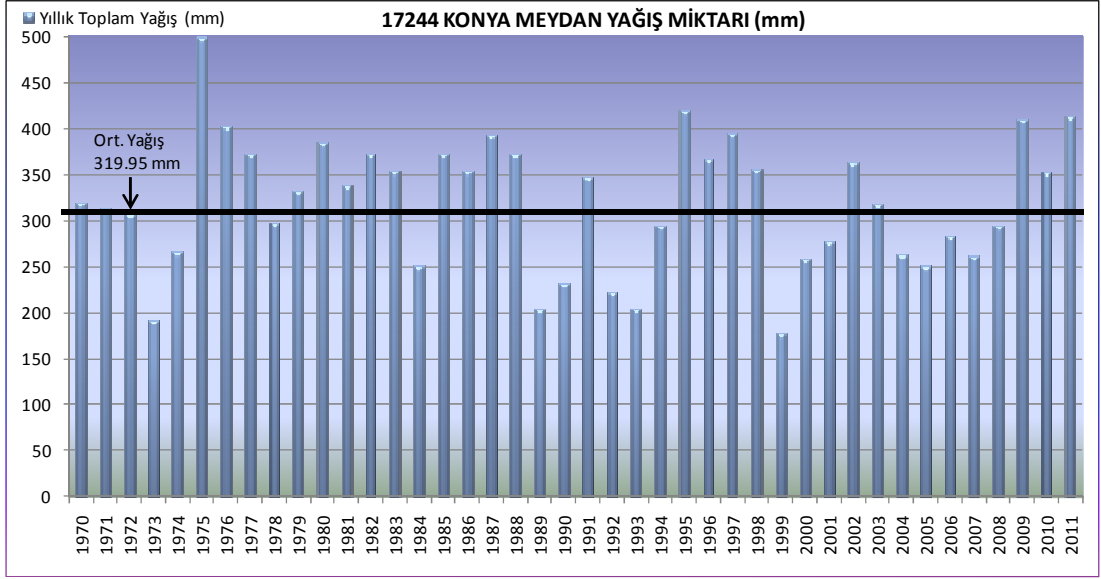
Şekil 3. 4. Seydişehir istasyonu yıllık toplam yağış ve eklenik sapma grafiği



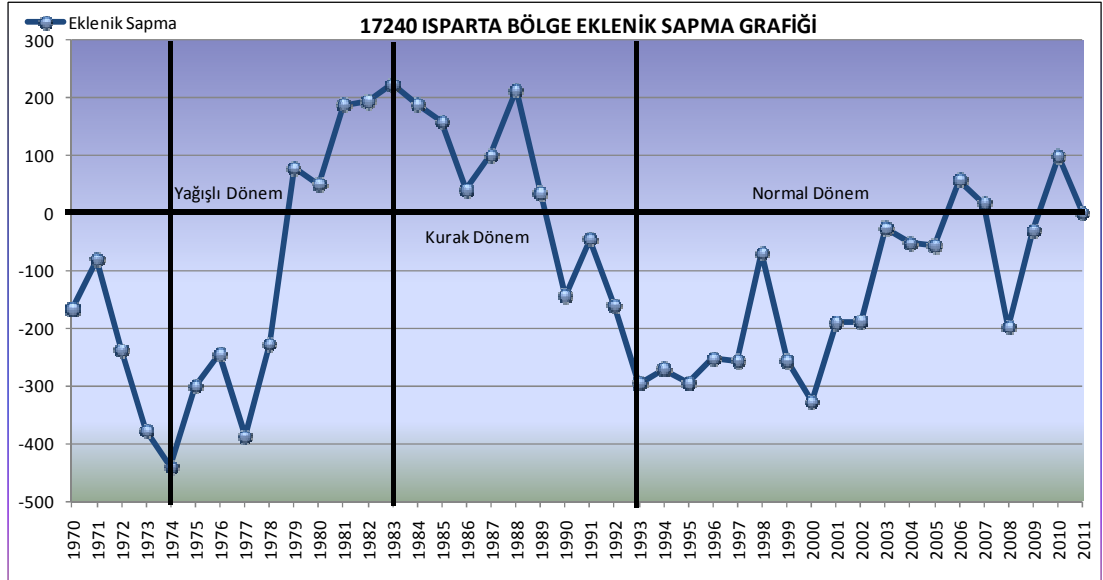
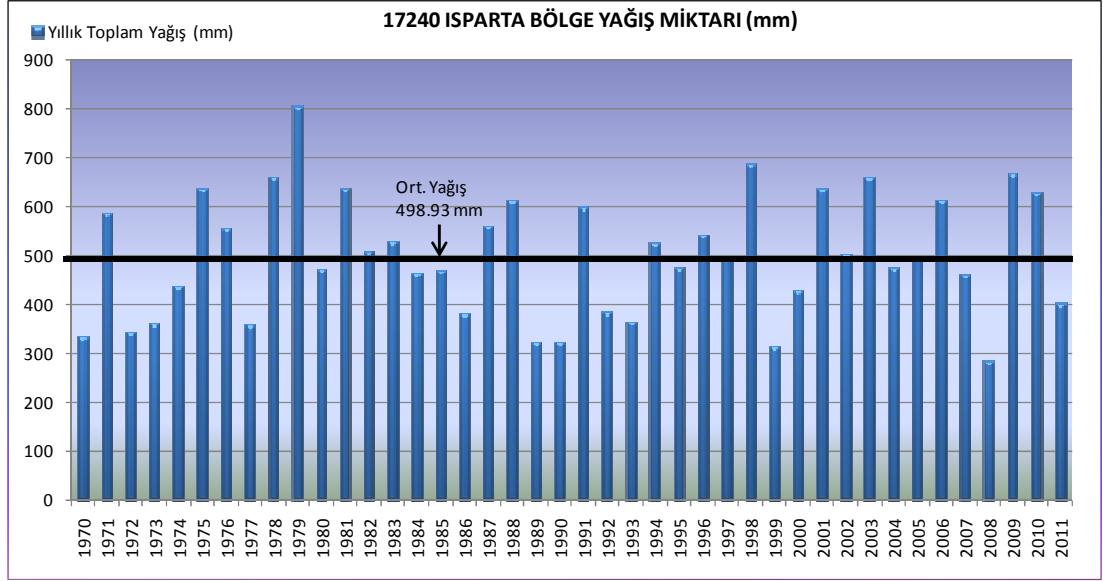
Şekil 3. 5. Manavgat istasyonu yıllık toplam yağış ve eklenik sapma grafiği



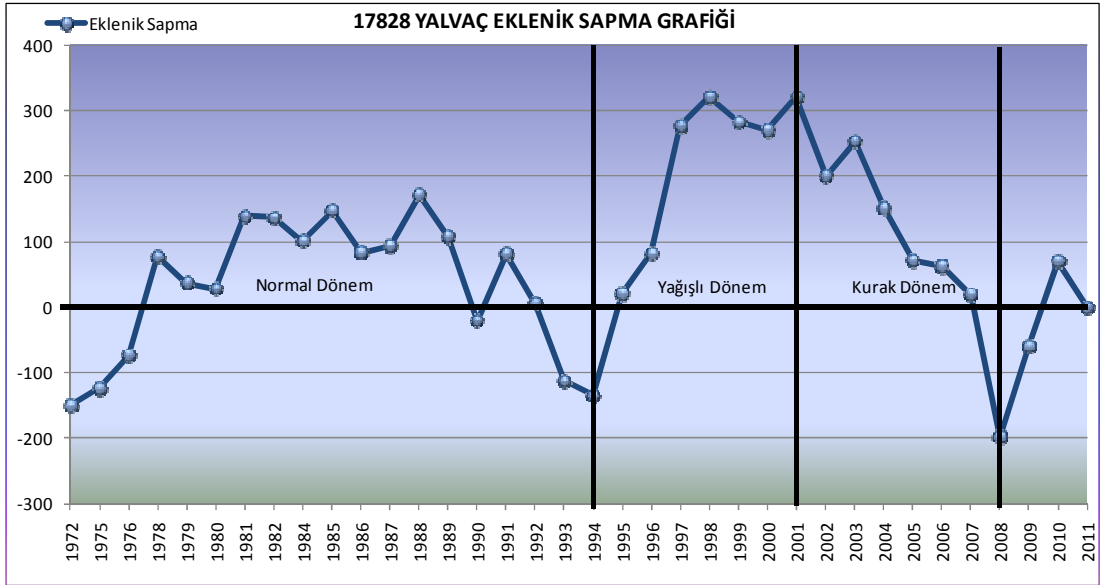
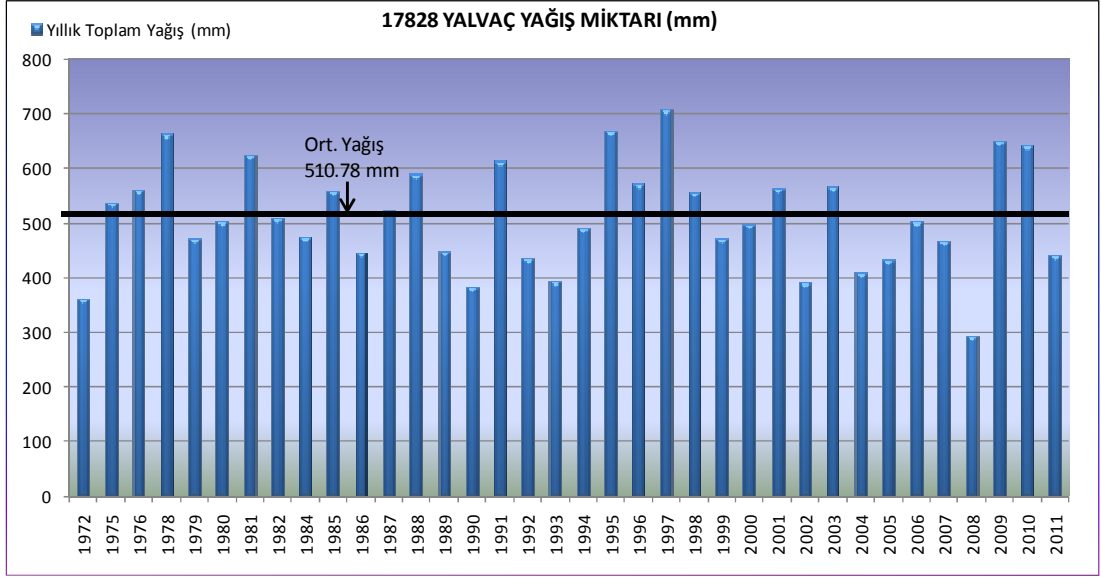
Şekil 3. 6. Yatağan istasyonu yıllık toplam yağış ve eklenik sapma grafiği



Şekil 3. 7. Konya istasyonu yıllık toplam yağış ve eklenik sapma grafiği

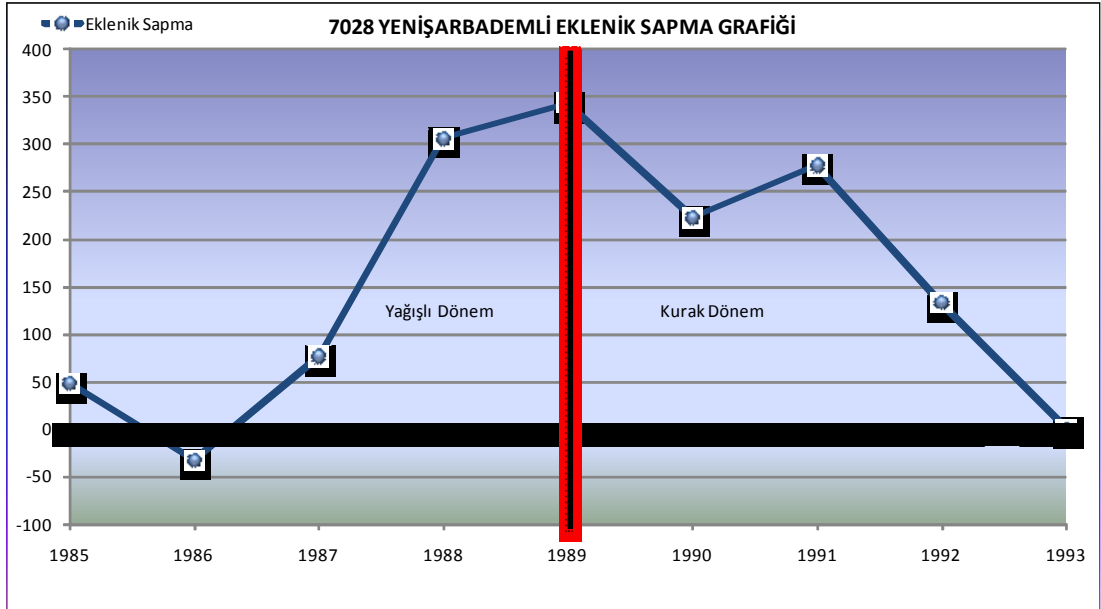
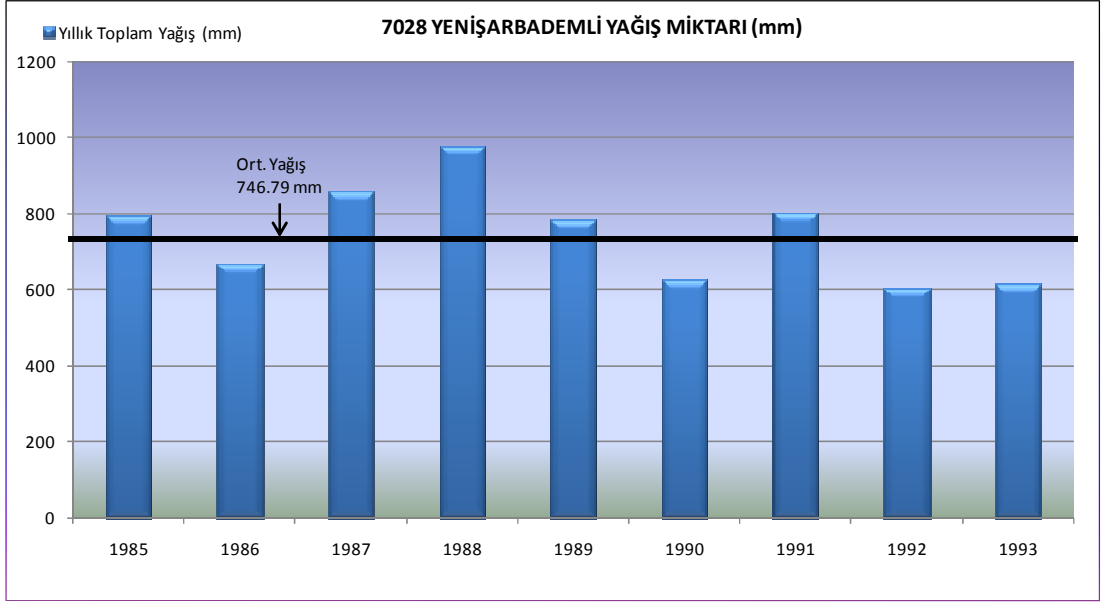


Şekil 3. 8. Isparta istasyonu yıllık toplam yağış ve eklenik sapma grafiği

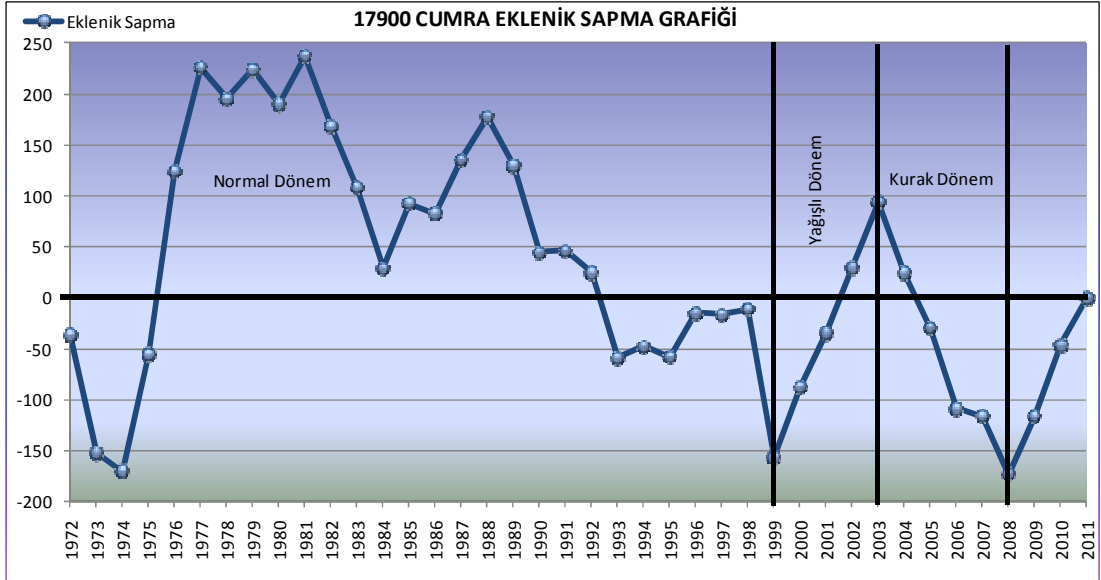
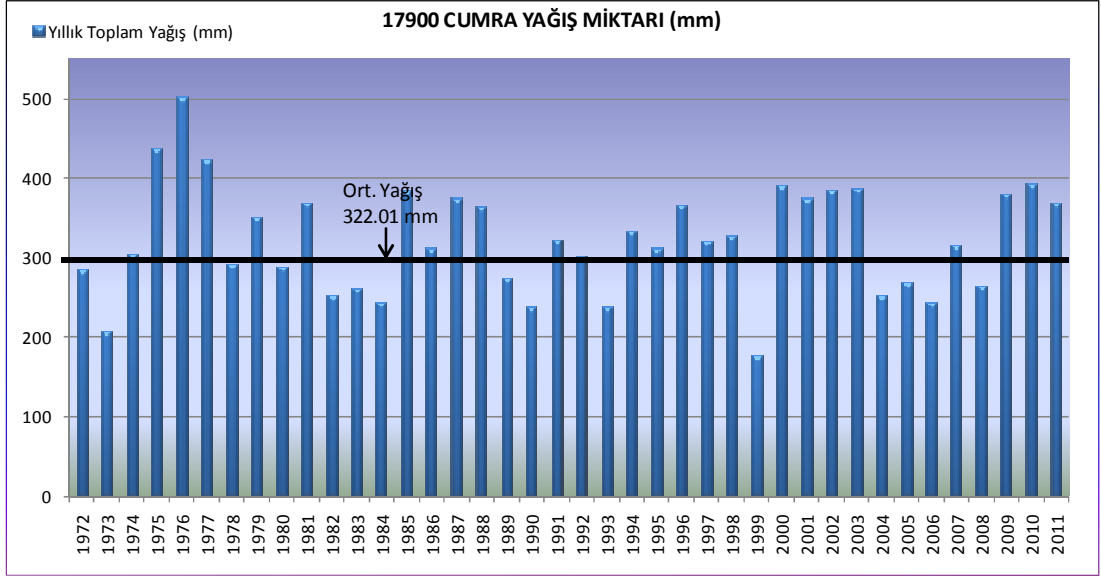


Şekil 3. 9. Yalvaç istasyonu yıllık toplam yağış ve eklenik sapma grafiği

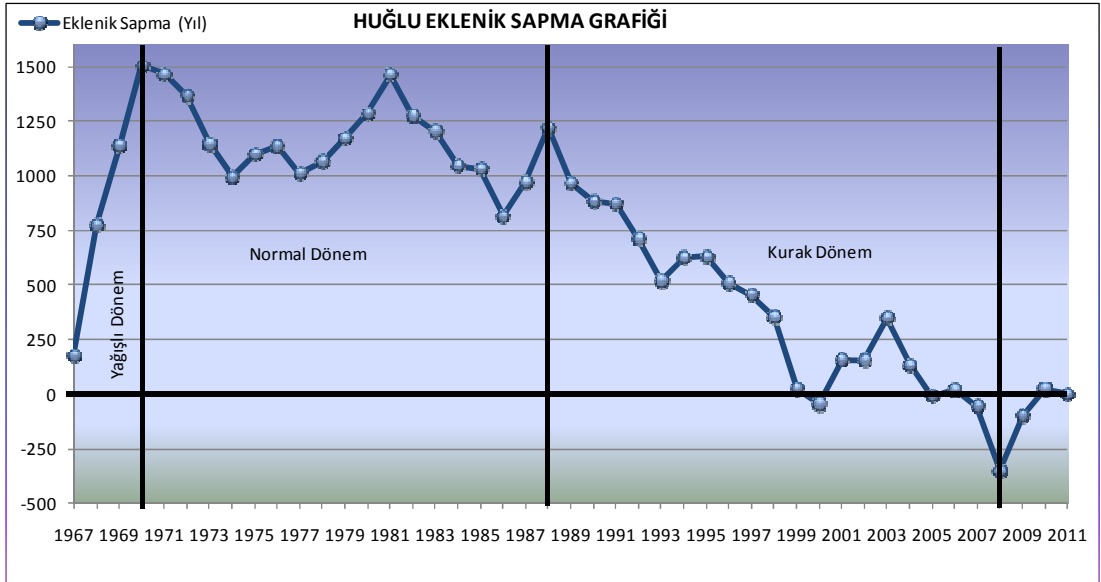
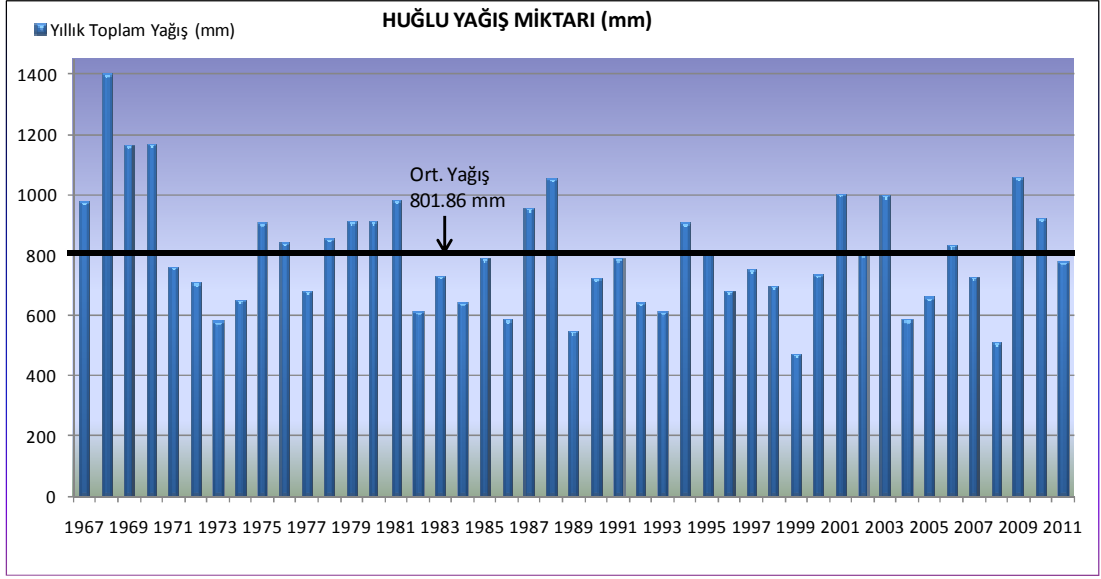




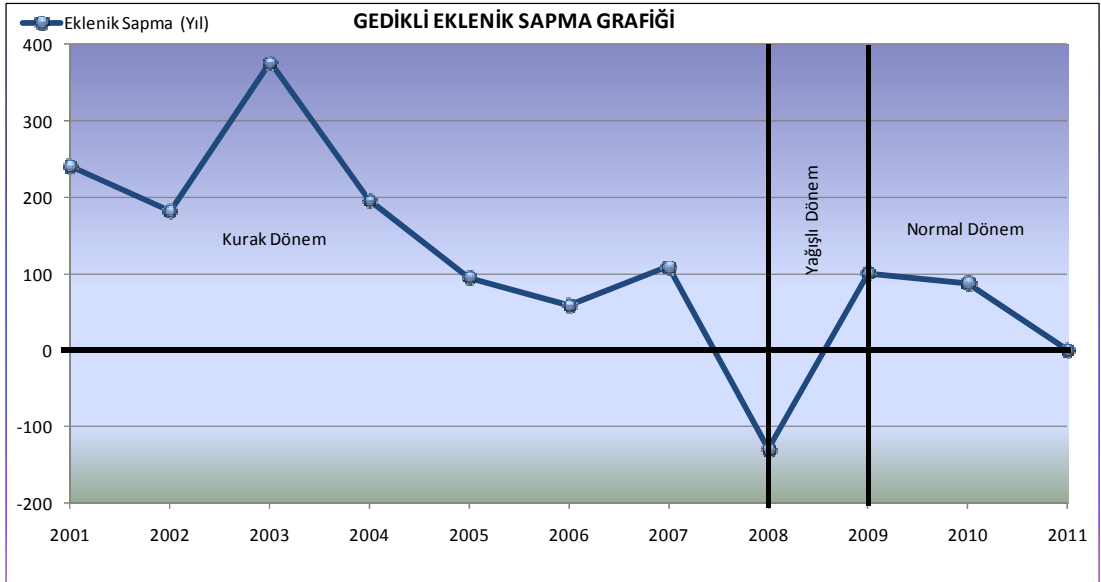
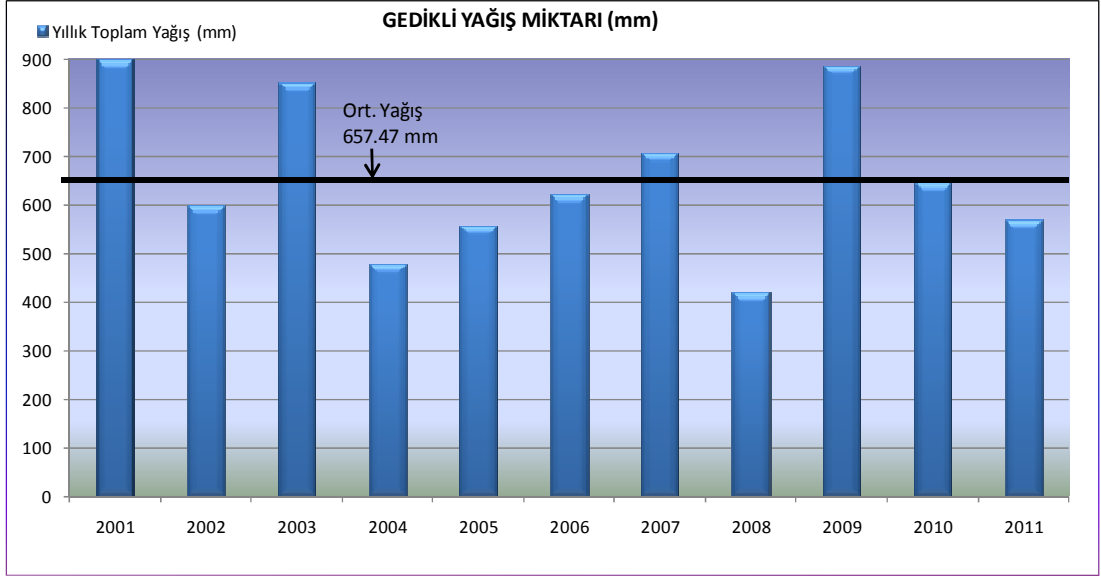
Şekil 3. 10. Yenişarbademli istasyonu yıllık toplam yağış ve eklenik sapma grafiği



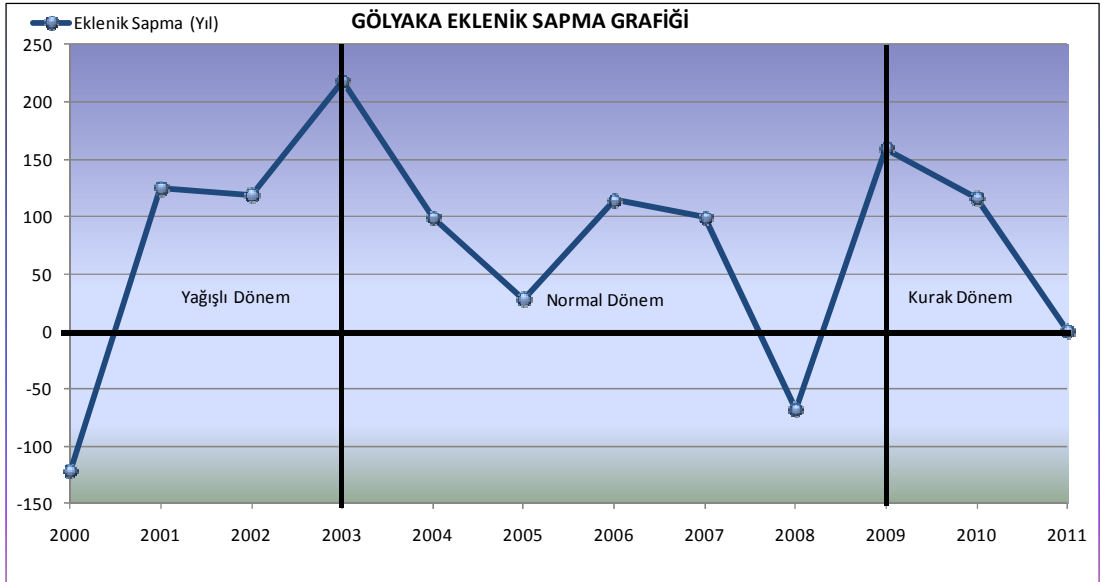
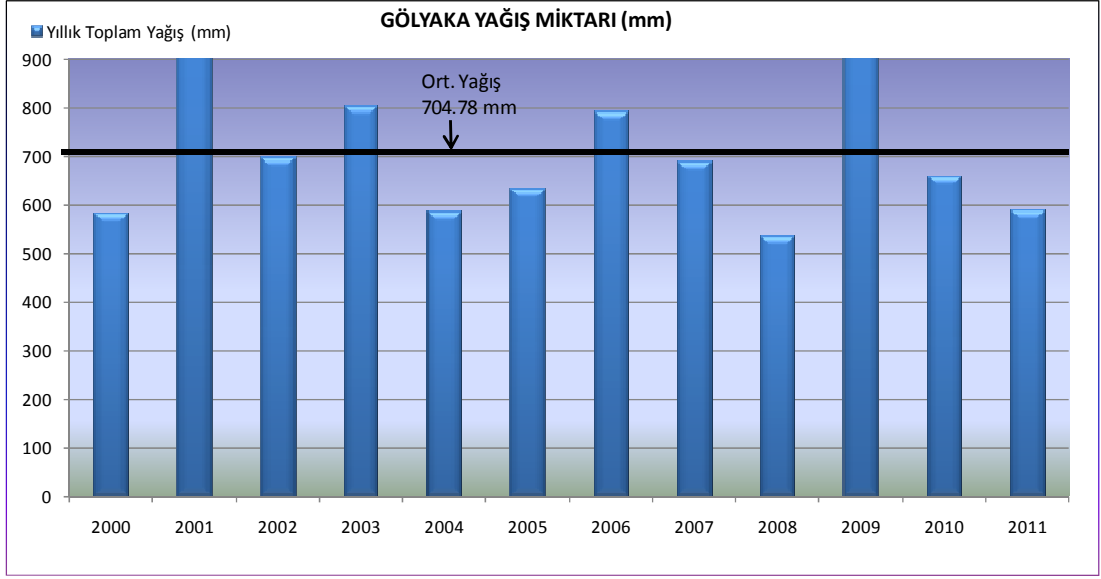
Şekil 3. 11. Cumra istasyonu yıllık toplam yağış ve eklenik sapma grafiği



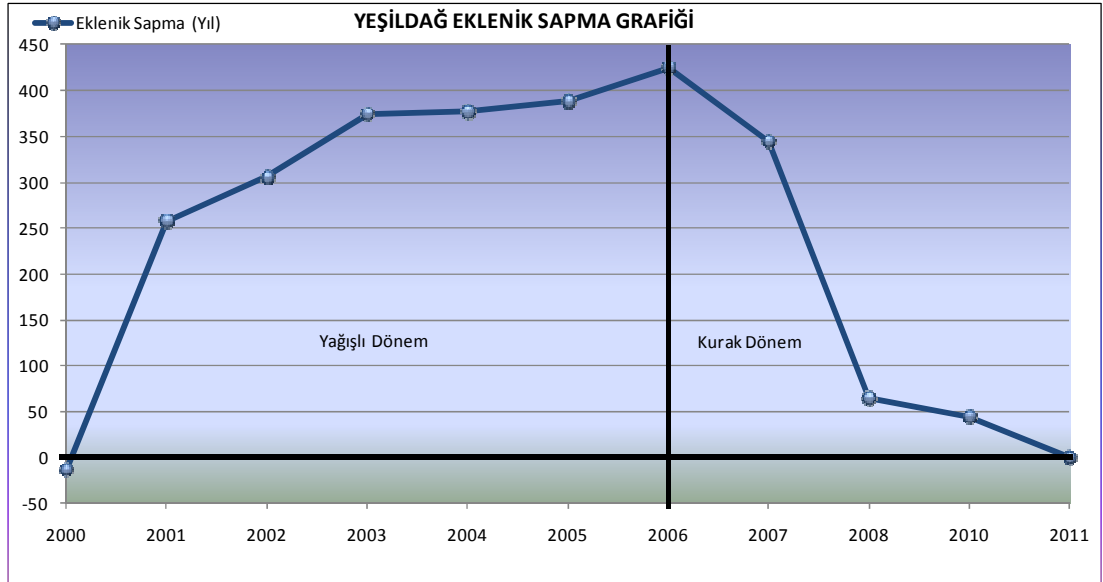
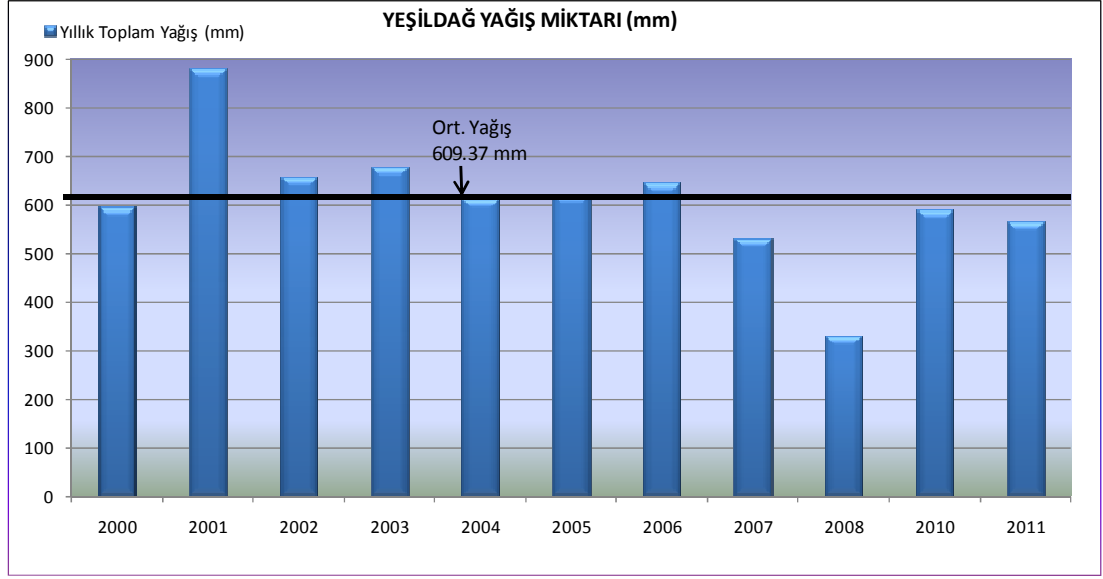
Şekil 3. 12. Huğlu istasyonu yıllık toplam yağış ve eklenik sapma grafiği



Şekil 3. 13. Gedikli istasyonu yıllık toplam yağış ve eklenik sapma grafiği



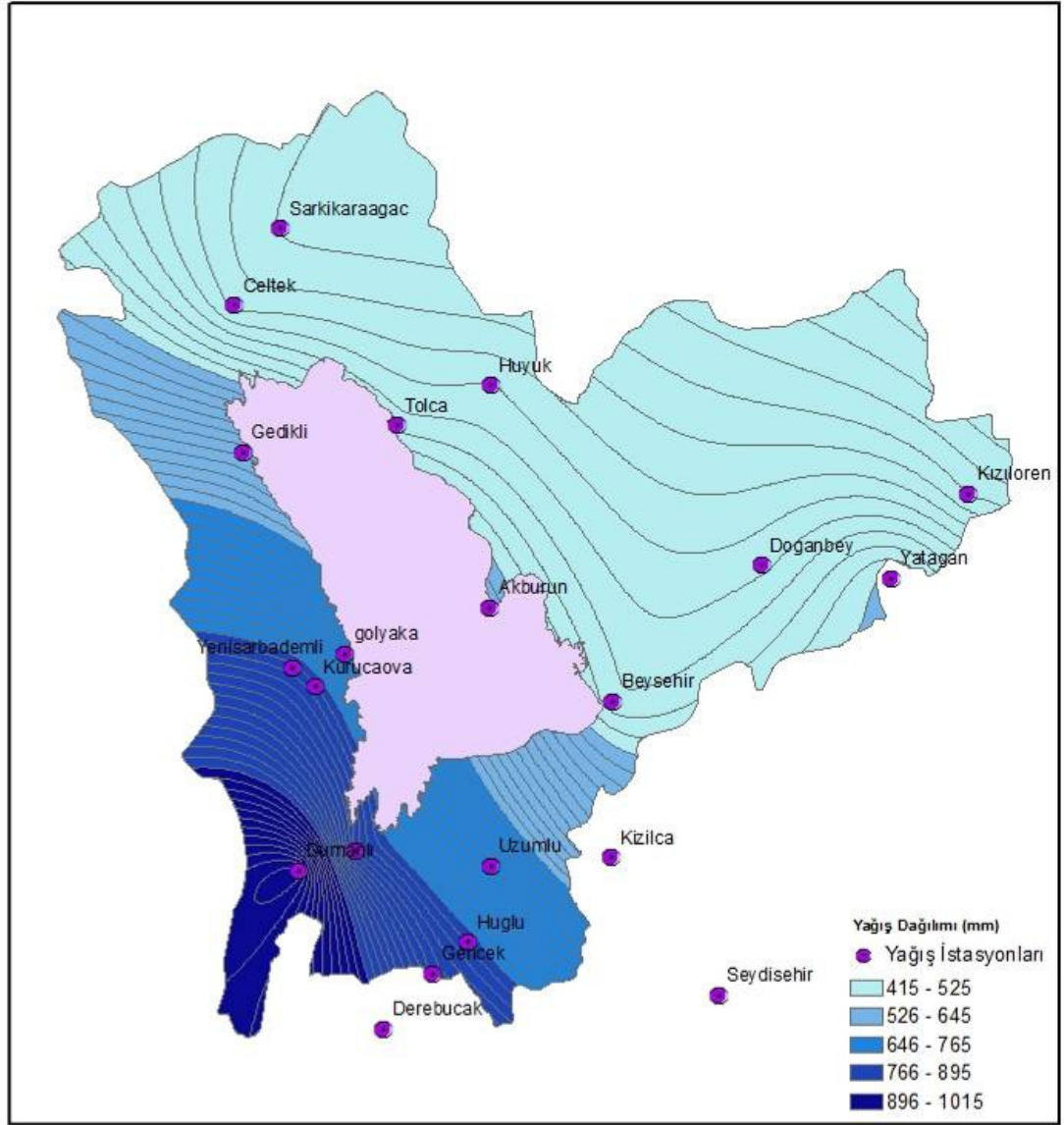
Şekil 3. 14. Gölyaka istasyonu yıllık toplam yağış ve eklenik sapma grafiği



Şekil 3. 15. Yeşildağ istasyonu yıllık toplam yağış ve eklenik sapma grafiği

Göl etrafındaki meteoroloji istasyonlarının uzun yıllar ortalama yağışları bulunup GIS (Geological Information System) ortamında harita üzerine yerleştirilmiştir. Bu değerler kullanılarak GIS ortamında Kriging metoduyla eş yağış konturları (izohiyet yöntemi) elde edilmiştir. İzohiyetler arasında kalan alanlar, bu alanı çevreleyen iki izohiyetin ortalaması ile çarpılarak toplanmışlardır (2366126,79 mm-km<sup>2</sup>). Daha sonra toplam alana (4116,07 km<sup>2</sup>) bölünerek bölgesel ortalama yağış 574,85 mm olarak hesaplanmıştır. GIS ortamında elde edilen uzun yıllar ortalama yağış haritası Şekil 3.16.'da 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. 16. Uzun yıllar yağış ortalama haritası

### 3.2.2. Buharlaşma

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 ölçülür veya ampirik formüller kullanılarak hesaplanır. Don mevsimi boyunca buharlaşma ölçüm aletleri

kullanılmadığından bu mevsimdeki buharlaşma miktarlarının bulunmasında ampirik formüller kullanılır. Çok sayıda ampirik formül bulunmasına rağmen, en çok kullanılan ampirik metotlar, Penman, Thorntwait ve Blaney-Cridde formülleridir.

Beyşehir Gölü ve yakın çevresinde bulunan buharlaşma ve sıcaklık gözlemi yapan bazı meteoroloji istasyonlarının ortalama yıllık toplam buharlaşma değerleri Çizelge 3.3'de ve yıllık ortalama sıcaklık değerleri ise Çizelge 3.4.'de verilmiştir.

Çizelge 3. 3. Beyşehir Gölü ve yakın çevresinde buharlaşma gözlemi yapan meteoroloji istasyonlarının ortalama yıllık toplam buharlaşma değerleri

Meteoroloji istasyonu	Ortalama Yıllık Toplam Buharlaşma (mm)
Beyşehir	683
Tolca	1386
Gedikli	964
Gölyaka	946
Yeşildağ	1049

Çizelge 3. 4. Beyşehir Gölü ve yakın çevresinde sıcaklık gözlemi yapan meteoroloji istasyonlarına ait yıllık ortalama sıcaklıklar

Meteoroloji istasyonu	Ortalama Yıllık Sıcaklık (°C)
Beyşehir	11,0
Seydişehir	11,5
Şarkikaraağaç	10,7

Beyşehir Meteoroloji istasyonunda ölçülen tava buharlaşma değerleri ile FAO-Penmann-Monteith denklemi kullanılarak hesaplanan aylık buharlaşma değerleri 2000'den 2009'a kadar yapılmıştır (Çizelge 3.5.). Tava buharlaşma ölçümleri Nisan ayından Ekim ayına kadar yapılmaktadır. FAO yöntemi ile hesaplanan buharlaşma o günkü mevcut enerji miktarı ile hesaplanarak bulunduğu potansiyel evapotranspirasyonu vermektedir. Tava buharlaşma değerleri belli bir katsayı ile çarpılarak (azaltılarak) potansiyel buharlaşma değerine çevrilmiştir. Bu katsayı



genelde 0.7 alınmaktadır. Bu çalışmadaki amaçlardan 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.

Çizelge 3. 5.a.FAO-Penmann-Monteith ve DMİ Tava Buharlaşma değerlerinin karşılaştırılması

FAO-PENMANN-MONTEİTH 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
	10	56.20	84.8	0.66
	11	24.35		
	12	14.27		
2000	1	14.70		
	2	26.85		
	3	55.65		
	4	89.97	118.6	0.76
	5	125.02	103	1.21
	6	133.29	164.2	0.81
	7	150.43	216.6	0.69
	8	126.00	187.9	0.67
	9	86.81	136.4	0.64
	10	49.99	66.5	0.75
	11	23.91		
	12	13.47		
2001	1	17.88		
	2	27.46		
	3	61.44		
	4	85.54	97	0.88
	5	111.01	111.2	1.00
	6	131.87	216.9	0.61
	7	143.53	258.1	0.56
	8	126.39	231.3	0.55
	9	86.13	168.7	0.51
	10	48.51	109.7	0.44
	11	21.82		
	12	12.66		
2002	1	14.55		
	2	27.42		
	3	53.61		
	4	81.64	79.3	1.03
	5	112.03	168.2	0.67
	6	126.34	195	0.65
	7	134.29	246.2	0.55
	8	115.96	226.6	0.51
	9	81.99	122.5	0.67
	10	49.11	96.8	0.51
	11	23.35		
	12	10.83		
2003	1	17.33		
	2	21.94		
	3	44.05		
	4	73.86	76.8	0.96
	5	115.49	149.7	0.77
	6	123.90	152.8	0.81
	7	132.59	223.9	0.59
	8	118.24	192.4	0.61
	9	81.34	106.6	0.76
	10	49.94	84.9	0.59
	11	23.49		
	12	13.03		

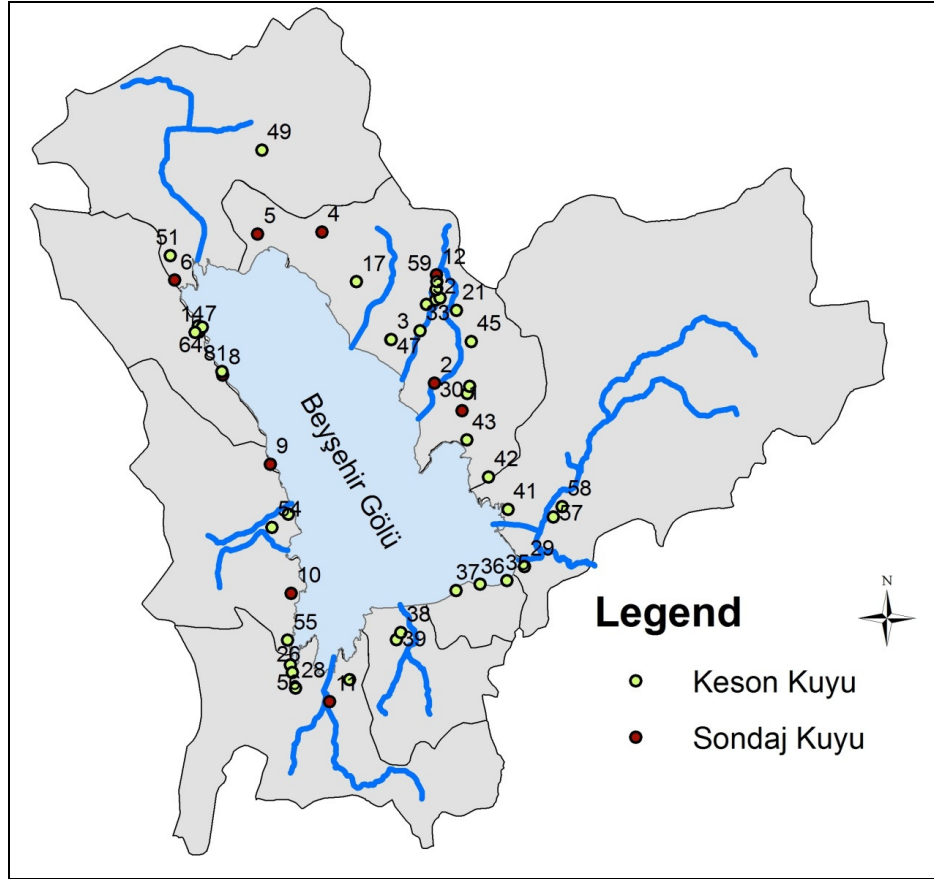
Çizelge3.5.b. FAO-Penmann-Monteith ve DMİ Tava Buharlaşma değerlerinin karşılaştırılması

<b>2004</b>	1	15.04		
	2	23.37		
	3	50.72		
	4	77.11	86.4	0.89
	5	107.09	124.7	0.86
	6	124.16	169.6	0.73
	7	130.98	224.8	0.58
	8	116.52	219	0.53
	9	81.45	167.2	0.49
	10	51.32	96.4	0.53
	11	22.38		
	12	12.34		
<b>2005</b>	1	15.73		
	2	24.36		
	3	49.63		
	4	77.21	99.8	0.77
	5	109.63	159.8	0.69
	6	123.08	202.2	0.61
	7	118.35	236.7	0.50
	8	111.78	294.7	0.38
	9	78.17	164.1	0.48
	10	43.36	62.6	0.69
	11	19.37		
	12	11.94		
<b>2006</b>	1	12.81		
	2	21.94		
	3	49.17		
	4	72.72	86.8	0.84
	5	103.14	175.3	0.59
	6	114.80	249.3	0.46
	7	121.05	279.4	0.43
	8	116.49	318.6	0.37
	9	78.10	176.5	0.44
	10	48.72	82.5	0.59
	11	21.41		
	12	10.85		
<b>2007</b>	1	12.96		
	2	22.82		
	3	47.45		
	4	70.80		
	5	108.57	220.1	0.49
	6	115.62	257.1	0.45
	7	128.98	337.2	0.38
	8	112.25	306.5	0.37
	9	76.88	214	0.36
	10	45.76	162.6	0.28
	11	22.33		
	12	12.59		
<b>2008</b>	1	11.97		
	2	19.10		
	3	51.38		
	4	74.41	203.4	0.37
	5	98.65	181.7	0.54
	6	116.86	269.8	0.43
	7	124.73	302.8	0.41
	8	118.34	307.9	0.38
	9	81.88	190.5	0.43
	10	49.90	78.6	0.63
	11	23.88	52.4	0.46
	12	11.63		
<b>2009</b>	1	14.20		
	2	23.29		
	3	44.17		
	4	75.26	118.8	0.63
	5	98.79	141	0.70
	6	116.69	229.7	0.51
	7	123.58	243.4	0.51
	8	108.01	238.1	0.45
	9	74.63	139.9	0.53
	10	46.58	109.3	0.43
	11	21.60	43.6	0.50
	12	12.56		

### 3.2.3. Yeraltı suyu

Bu bölümde çalışma alanındaki yeraltı suyu ile ilgili yapılan çalışmalara değinilmiştir. Dünyada bulunan tatlı suyun büyük bir kısmı yeraltında bulunmaktadır. Yeraltında ve yeryüzündeki suların sürekli ilişki halinde bulunmaları yeraltı suyunun önemini daha da arttırmıştır.

TÜBİTAK 109Y271 nolu proje kapsamında göl havzası etrafında açtırılan sondaj kuyuları ve çalışma alanında mevcut bulunan keson kuyularından her ay düzenli olarak ölçüm alınmıştır. Şekil 3.17.'de ölçüm alınan sondaj ve keson kuyularının çalışma alanındaki yerleşim haritası verilmiştir. Ayrıca havzada ölçüm alınan kuyuların verileri Çizelge 3.6.'da verilmiştir.



Şekil 3. 17. Beyşehir Gölü Havzasında ölçüm alınan gözlem kuyularının yerleşim haritası

Çizelge 3. 6.a.Çalışma Alanında Yapılan Aylık Yeraltısuyu Seviyesi Ölçümleri  
(2010 Yılı)

GİDİS YONU	KUYU NO	DOĞU	KUZUY	KOT(m)	KOT YENİ	KUYU DERİNLİĞİ	29.8.10	15.9.10	25.9.10	8.10.10	19.10.10	21.10.10	22.10.10	21.11.10	25.12.10
1	49	360060	4214305	1179(+0,75)		7,54									
2	5	359625	4205464	1136(+0,10)	1140	9,00	6,25		4,22				3,97	4,00	3,84
3	51	350441	4203159	1138		3,64									
4	6	350895	4200581	1129(+0,25)		15,20	1,85		1,73		1,44			1,33	1,07
5	Gedikli sondaj	353376	4195762	1138		92,00									
6	Gedikli sondaj	353795	4195628	1132		44,00									
7	14	353030	4195079	1178			3,70		3,82		3,14			2,77	2,2
8	7	353469	4195130	1150(+0,10)		8,40	8,40		8,40		8,40			8,40	8,4
9	8A	355878	4190951	1130											
10	8	355931	4190560	1138(+0,25)		8,20	7,30		7,92		8,01				7,95
11	9	360953	4181158	1125(+0,45)		10,40	3,30		3,48		3,59			3,74	2,71
12	15	362868	4175885	1124(+0,62)	1120		4,45		4,52		4,43			4,22	3,6
13	54	361130	4174525	1160	1153	10									
14	10	363176	4167562	1235(+0,25)	1230	4,20	2,20		2,34		2,44				3,77
15	55	362783	4162609	1128	1128	8									
16	56	363056	4160006	1147(+0,75)	1133	8,8									
17	26	363272	4159233	1124(+0,55)	1126				2,58		2,66			2,41	0,95
18	28	363627	4157550	1135	1129				kuru		kuru				
19	11	367203	4156126	1123(+0,50)	1123	8,50	0,00		0,00		0,00			0,00	0
20	40	369293	4158465	1188(+0,55)	1190									4,19	2,65
21	39	374249	4162676	1142	1150								3,22	3,6	0,75
22	38	374724	4163436	1132	1150	7,4							7,4		6,23
23	37	380538	4167867	1127(+0,40)									2,63	2,47	1,14
24	36	383029	4168508	1125(+0,50)									4,3	4,29	2,64
25	35	385854	4168886	1125									3,2	3,05	1,12
26	29	387727	4170390	1150				8,2	8,22				7,91	7,8	7,69
27															
28	41	385979	4176422	1132		4,25							2,9	2,7	2,07
29	42	383939	4179810	1134(+0,25)		6,5							5,27	5,22	4,91
30	43	381644	4183721	1132(+0,40)		6,1							6	6,1	6,02
31	1	381146	4186836	1140(+0,20)		19,00	3,03	2,66	2,32				2,14	2,12	2,12
32	60	381697	4188643			6,52									
33	30	381934	4189393	1140					4,06						
34	45	382128	4194085	1150(+0,30)		6,5							3,79		2,25
35	21	380576	4197400	1183				3,00				2,90		2,80	2,35
36	48	378391	4198493												6,55
37	13	378846	4198703	1209(+0,65)				6,5	6,66		6,82			6,92	
38	22	378393	4199578	1203(+0,20)				1,65	1,56			1,36			0,89
39	59	378509	4200427	1202											
40	12	378443	4201139	1225									0,84		2,99
41	32	377409	4198020	1174(+0,40)		4,23			2,92				2,8		
42	33	376724	4195229	1158					8,88				9,19	kuru	
43	2	378241	4189730	1134(+0,40)		16,40	2,05	2,42	1,64	2,17			2,23	2,47	2,02
44	3	373671	4194321	1141(+0,40)	1140	18,40	3,20	2,94	3,18	2,98			2,98	3,17	2,58
45	47	373695	4194306	1138(+0,60)	1140								3,68	3,77	3,27
46	17	370013	4200414	1150(+0,10)	1150			3,8	3,99			3,55		3,9	2,99
47	4	366391	4205666	1216(+0,60)	1213,92	9,10	4,80	4,93		5,22		5,38		5,72	

Çizelge 3.6.b. Çalışma Alanında Yapılan Aylık Yeraltısuyu Seviyesi Ölçümleri  
(2011 Yılı)

GİDİS YONU	KUYU NO	DOĞU	KUZEY	23/1/11	27/2/11	24/3/11	24/4/11	23/5/11	20/6/11	22/7/11	20/8/11	25/9/11	23/10/11	27/11/11	30.12.2011
1	49	360060	4214305	4.55	4.39	4.35	4.48	4.53	4.7	5.44	5.52	5.63	5.45	5.07	4.97
2	5	359625	4205464	3.81	3.64	3.33	3.08	3.25	3.57	3.6	3.67	3.75	3.78	3.84	3.88
3	51	350441	4203159	1.94	1.77	1.76	1.85	1.91	1.97	2.4	3.08	3.75	3.14	2.79	2.86
4	6	350895	4200581	1.15	1.02	1.06	1.14	1.25	1.29	1.35	1.31	1.4	1.19	1.3	1.16
5	Gedikli sondaj	353376	4195762								8.58	7.35	8.65	9	9.19
6	Gedikli sondaj	353795	4195628									3.41	3.82	4	2.81
7	14	353030	4195079	2.47	2.51	2.39	2.69	2.81	3.24	6.54	4.65	4.31	3.67	3.23	3.03
8	7	353469	4195130	8.04	8.04	8.04	8.04	8	8	8	8	8	8	-	-
9	8A	355878	4190951											3.17	-
10	8	355931	4190560	8.1	8.1	8.08	8.06	8.06	-	8.06			-	-	-
11	9	360953	4181158	2.37	0.77	0.87	1.28	1.59	2.25	2.58	2.9	3.09	3.15	3.34	3.27
12	15	362868	4175895	3.57	3.11	3.12	3.08	3.33	3.53	4	4.26	4.34	3.93	3.74	3.5
13	54	361130	4174525	3.47			3.19	3.41	3.6	3.81	3.61	3.65	3.23	4.09	3.1
14	10	363176	4167562	3.89	4.15	2.99	1.59	1.4	1.44	2.97	3.66	3.68	2.34	2.75	-
15	55	362783	4162609	1.23	1.29	0.93	0.77	1.1	1.12	2.13	2.73	3.06	1.63	2.31	0.92
16	56	363056	4160006	1.55		1.48	1.52	1.66	1.53	2.02	2.78	2.39	1.49	1.8	-
17	26	363272	4159233	1.1	1.00	0.95	0.95	1.08	1.13	1.42	2.00	2.27	1.05	1.82	0.93
18	28	363627	4157550	3.48	2.13	2.24	2.6	3.02	3.34	4.78	5.68	6.32	3.08	4.84	2.62
19	11	367203	4156126	0	0	0	0	0	0.42	0.51	0.54	0.8	0.92	1.03	1.11
20	40	369293	4158465	2.8	2.49	2.48	2.43	2.57	2.8	3.43	3.05	3.32	3.11	3.53	2.83
21	39	374249	4162676	1.64	0.64	0.52	0.7	1.51	2.15	3	3.84	4.13	1.75	3.61	1.17
22	38	374724	4163436	5.95	4.14	3.19	3.56	4	4.34	5.12	5.88	6.92	kuru	-	-
23	37	380538	4167867	1.24	0.88	1.17	1.46	1.7	2	2.28	2.34	2.51	2.07	2.12	1.48
24	36	383029	4168508	2.52	1.68	1.7	1.93	2.05	2.39	2.97	3.52	3.93	3.65	4.07	3.47
25	35	385854	4168886	1.64	1	1.13	1.65	1.87	2.5	2.92	3.24	3.29	2.99	2.86	2.21
26	29	387727	4170390	7.35	7.09	6.85	6.67	6.72	7.51	7.94	8.12	8.23	7.85	7.73	7.67
27										2.4	2.2	1.95	1.90	1.95	2.33
28	41	385979	4176422		2.05	2.19	2.33	2.43		2.43	2.41	2.4	2.45	2.43	2.32
29	42	383939	4179810		4.78	4.85	4.97	5.09	5.3	5.59	5.74	6.05	5.63	5.58	5.35
30	43	381644	4183721	kuru	6.02	5.49	5.58	5.81	5.9	6.04	6	5.97	5.97	6.1	5.97
31	1	381146	4186836	2.08	2.06	2.18	2.1	2.07	-	-	-	-	-	-	-
32	60	381697	4188643							5.43	5.42	5.72	5.75	6.26	6.48
33	30	381934	4189393	2.8		4.5	4.46	4.55	4.65	3.98	4	4.22	4.23	4.63	4.81
34	45	382128	4194095	2.12		1.84	2.64	1.48	1.72	2.46	3.5	4.21	4.51	4.18	3.94
35	21	380576	4197400	2.62	2.07	1.87	2.47	2.67	2.67	2.92	2.97	3.02	2.8	2.8	2.71
36	48	378391	4198493	1.74	1.3	1.37	1.51	1.97	2	2.6	2.85	2.8	2.21	2.24	1.52
37	13	378846	4198703			6.6	6.64	6.75	6.85	6.98	7.18	7.37	7.46	-	-
38	22	378393	4199578	1.16		0.78	1.04	1.37	1.48	1.71	1.62	1.47	0.28	1.36	1.09
39	59	378509	4200427			1.05	1.09	1.14	0.2	1.66	2	2.08	1.74	1.41	1.3
40	12	378443	4201139	2.82	2.59	2.45	2.45	2.47	2.63	3.71	4.18	4.27	3.74	3.28	3.03
41	32	377409	4198020	3.4	2.06	1.99	2.03	2.1	2.28	2.92	3.2	2.94	2.65	2.64	2.5
42	33	376724	4195229	7.54	6.64	6.42	6.49	6.78	7.7	8.22	8.55	kuru	kuru	-	9.29
43	2	378241	4189730	2.28	2.14	2.22	2.4	2.5		2.17	2.35	2.26	2.65	2.65	2.23
44	3	373671	4194321	2.54	2.07	1.9	2.68	3.06	3.23	3.23	3.91	3.3	3.57	3.78	2.92
45	47	373695	4194306			2.58	3.24	3.62		3.93	3.38	3.92	2.8	3.2	3.6
46	17	370013	4200414		2.56	2.47	2.74	2.93	2.94	3.56	3.8	3.94	3.52	3.94	3.49
47	4	366391	4205666	6.00		3.94	3.94	4.07	4.41	4.74	5.05	-	-	-	-

Çizelge 3.6.c. Çalışma Alanında Yapılan Aylık Yeraltısuyu Seviyesi Ölçümleri  
(2012 Yılı)

GIDIS YONU	KUYU NO	Kuyu Mesafeleri	DOGU	KUZEY	20/1/12	25/2/12	19/3/12	1/5/12	ACIKLAMALAR
1	49	0	360060	4214305	4.29	3.96	2.86	4.09	Sarkikaraagac Cikisi Beysehir Yolu Uzerinde
2	5	18.1	359625	4205464	2.96	kar	0	0.16	iki Agac Arasi_Karakaya
3	51	33.9	350441	4203159	1.79	1.67	0.74	1.79	6 Nolu Kuyuya Varmadan
4	6	36.7	350895	4200581	1.01	0.9	0.67	1.25	
5	Gedikli sondaj	42.5	353376	4195762	7.19	7.4	1.96	8.25	Gedikli Derin Sondaj Deve Heykelinin Karsisinde
6	Gedikli sondaj	43.2	353795	4195628	1.03	-	4.78	2.32	Gedikli 44m Sondaj Bahcelerin icinde
7	14	44.6	353030	4195079	2.34	1.7	1.68	2.25	7 Nolu Kuyunun Ustu
8	7	45.3	353469	4195130		-	kuru	7.44	Su Yok.(Anayol kenari)
9	8A	50.4	355878	4190951		2.51	kuru	1.18	Gedikliyi_gecince_8nolu_kuyuya_varmadan_solda
10	8	51	355931	4190560		-	kuru	kuru	
11	9	62.7	360953	4181158	0.89	0.44	0.79	1.13	Kilidi Acik Birakildi
12	15	69	362868	4175895	3.22	3	2.91	3.21	Golyaka
13	54	71.5	361130	4174525	3.19	3.16	3.16	3.41	Golkonak Limnigraph
14	10	81.3	363176	4167562		-	-	kuru	
15	55	87.5	362783	4162609	0.91	0.8	0.87	1.1	10 Nolu Kuyudan Sonra Solda
16	56	90.3	363056	4160006	1.39	1.29	1.36	1.62	10 Nolu Kuyudan Sonra Sagda Ustte
17	26	91.2	363272	4159233	0.81	1.02	0.81	0.9	
18	28	93.1	363627	4157550	1.24	2.34	1.15	2.38	Yesildaga Varmadan(Kayabasi)
19	11	97.5	367203	4156126	0	0	0	1.02	Su Yuzeyde(Soguksu Koprusunu Gecince Solda)
20	40	101.11	369293	4158465	2.57	2.49	2.15	2.36	11 Nolu Kuyudan Sonra Viraji Donerken Solda
21	39	108.4	374249	4162676	0.85	0.44	0.42	1.14	Yesildag Yol Ayrimindan 3km Sonra Sagda
22	38	115.4	374724	4163436	5.02	2.92	1.95	3	Kor Kuyu Yesildag Yol Ayrimindan 2km Sonra Solda
23	37	117.3	380538	4167867	0.82	0.82	0.98	1.35	Karadiken Koyunun Girisinin Karsisi Sagda Taskulenin Arkasi
24	36	119.9	383029	4168508	2.32	1.51	1.49	1.87	Beyazgul Tatil Sitesi Beysehir Antalya Istikametinde Sagda
25	35	122.4	385854	4168886	1.01	0.75	1	1.62	Bademli Yol Ayrimi 200m Iceride Sagda
26	29	126.7	387727	4170390	7.43	6.59	6.29	6.21	Beysehirin icindeki kuyu
27		0			2.3		2.96	3.5	Beysehir Regulator Koprü Esel Degeri
28	41	5.8	385979	4176422	2.21	2	1.72	1.78	Beysehir Cikisinden 2km. Sonra Sagda Buyuk Direkli
29	42	10	383939	4179810	5.09	4.67	4.42	4.41	Beytekse Gelmeden 1km. Oncce(Yilanli Kuyu)
30	43	14.8	381644	4183721	5.83	4.87	2.63	4.16	Sadik Haci Kavsagi
31	1		381146	4186836	-	-	-	-	
32	60	20	381697	4188643	6.39	5.53	1.73	3.49	1 Nolu Kuyudan Sonra
33	30	20.8	381934	4189393	4.77	4.15	1.92	2.19	1 Nolu Kuyudan Sonra ikinci Kuyu
34	45	25.8	382128	4194095	1.43	1.24	0.86	1.06	
35	21	30.6	380576	4197400	2.11	1.43	1.32	2.07	Kosk Hamam Karsisi Koordinatları Kontrol Et
36	48	33.1	378391	4198493	1.32	1.13	1.17	1.53	Gorunmez Koyu Yol Kenari
37	13	33.6	378846	4198703			kapalı	4.67	
38	22	35.4	378393	4199578	0.67	0.47	0.55	1.04	Cildir Kuyu
39	59	36.3	378509	4200427	1.13	0.95	0.91	1.03	Mutlu Girişi Derin Kuyu
40	12	41	378443	4201139	2.8	2.39	1.5	1.99	Yeni Acilan Kuyu Mutlu Kasabasi
41	32	43.4	377409	4198020	2.04	1.74	1.29	1.79	Gorunmez Cikisi
42	33	46.5	376724	4195229	6.46	6.22	5.22	4.76	Gorunmez Yenice Arasi
43	2	52.9	378241	4189730	1.94	1.76	1.61	1.6	
44	3	59.6	373671	4194321	1.94	1.65	0.76	2.31	Trafo Yani.Yan Tarafıta Keson Kuyu Var
45	47	59.6	373695	4194306	2.88	1.33	1.47	1.57	3 Nolu Kuyunun Yanındaki Keson Kuyu
46	17	67	370013	4200414	2.33	1.82	1.76	2.13	Kireli-Isparta Kireliden Sonraki ilk Kuyu
47	4	73.9	366391	4205666	-	-	-	1.38	

Yukarıdaki Çizelge 3.6'da verilen kuyulardan Beyşehir gölünün doğu, batı, kuzey ve güney yönlerine düşen bazı kuyuların YASS seviyelerinin zamanla değişimi çizilmiştir (Şekil 3.18-19).



Şekil 3. 18. Gölün Doğu ve Güney yönlerindeki kuyuların YASS seviyelerinin zamanla değişimleri

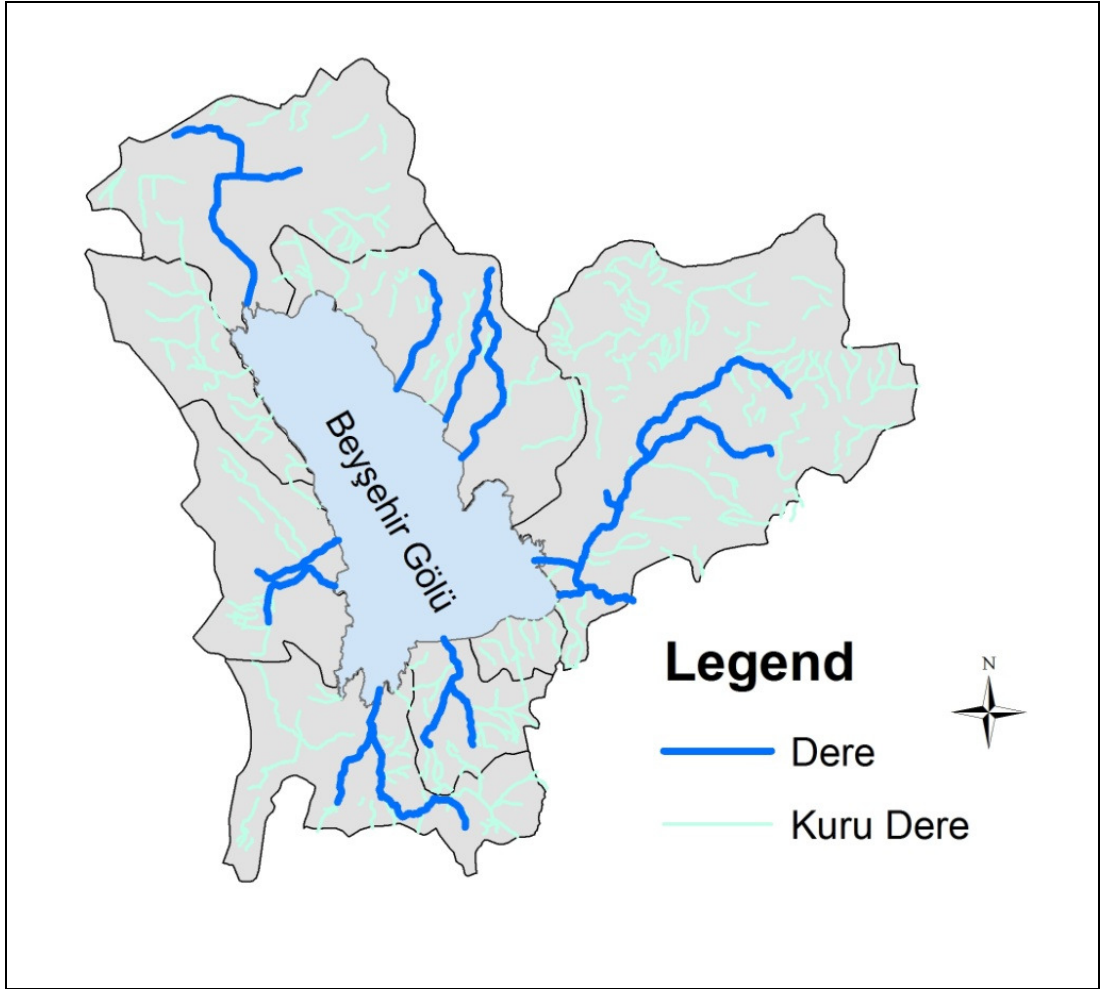




Şekil 3. 19. Gölün Batı ve Kuzey yönlerindeki kuyuların YASS seviyelerinin zamanla değişimleri

### 3.2.4. Yüzeysel akış

Bu bölümde, çalışma alanında bulunan akarsu akışları dikkate alınmıştır. 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. Çizelge 3.7.'de Beyşehir Gölü Havzasında bulunan akım ve göl gözlem istasyonları ve ortalama akım debileri verilmiştir. Çalışma alanında sürekli akış halinde olan akarsuların bulunması yanında sadece yağışlı dönemlerde akış halinde olan akarsularda bulunmaktadır (Şekil 3.20.).



Şekil 3. 20. Beyşehir Gölü Havzasında bulunan derelerin haritası

Çizelge 3. 7. Beyşehir Gölü Havzasında bulunan akım ve göl gözlem istasyonları ve ortalama yıllık toplam akım

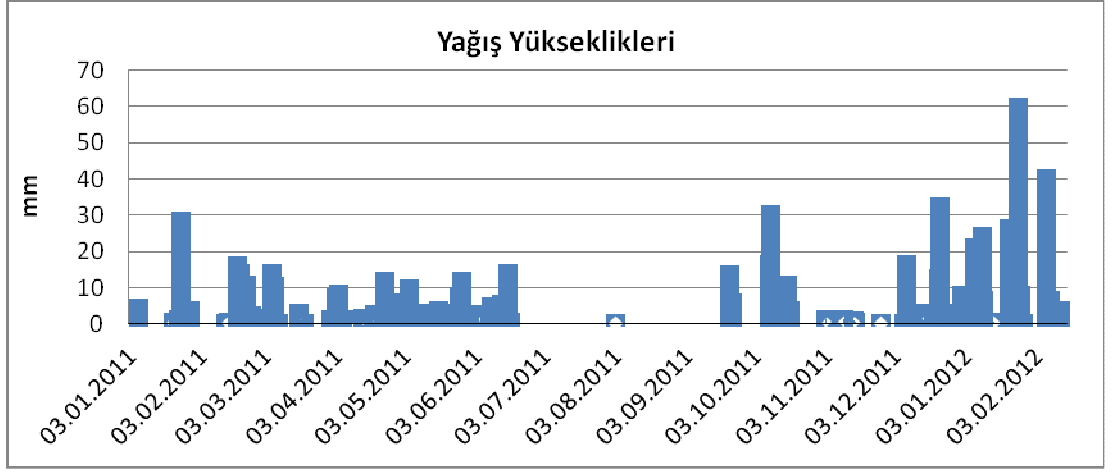
Sıra No	İstasyon No	İstasyon Adı	Çalıştığı yıllar	Drenaj alanı (km <sup>2</sup> )	Fili ort. Yıllık top.akım (hm <sup>3</sup> )
1	16-14	Soğuksu-Yeşildağ	1959-70	215,3	153,9
2	16-14	Soğuksu-Yeşildağ I. Köprü	1991- Açık	177,0	54,6
3	16-15	Üstünler suyu – Üstünler	1959-80,91 Açık	153,8	46,2
4	16-33	Çarıkсарay suyu-Çarıkсарay	1960-72	36,0	11,7
5	16-13	Şarkikaraağaç suyu-Çeltek	1960-Açık	519,0	36,5
6	16-34	İlıcasu-Yunuslar	1960-73	233,0	21,6
7	16-35	Bucakdere-Damlapınar	1960-73,97 Açık	54,5	9,1
8	16-105	Sarısu-Santral çıkışı	1974-81	-	11,8
9	16-106	Sarısu-Santral savacağı	1974-81	-	13,8
10	16-104	Sarısu-Eylikler köprüsü	1974-81,91 Açık	1040,0	119,0
11	16-111	Soğuksu-Yeşildağ II. Köprü	1991-Açık	49,0	98,7
12	16-154	Ozan deresi-Tolca	1991-Açık	61,3	4,2
13	16-155	Çavuş deresi-Kireli	1991-Açık	51,7	6,9
14	16-158	Hızar deresi-Gölyaka	1991-Açık	155,0	
15	1604 / A	Beyşehir gölü-Çıkış	1954-Açık	-	343,8
16	1604	Beyşehir gölü-Regülatör göl gözlem	1954-Açık	-	-
17	16-11/A	Beyşehir gölü-Muslu göl gözlem	1959-Açık	-	-
18	16-11/B	Beyşehir gölü-Kanlıboğaz göl gözlem	1966-Açık	-	-
19	16-156	Beyşehir gölü-Tolca göl gözlem	1991-Açık	-	-
20	Müt.	Eflatunpınarı deresi	1991-Açık	35,0	12,8
21	Müt.	Ebülvefa deresi	1991-Açık	92,0	9,8
22	Müt.	Girlevik kaynağı	1991-Açık	-	17,3
23	Müt.	Karadiken kaynağı	1991-Açık	-	13,0
24	Müt.	Kurudere-Kurucaova	1991-Açık	95,0	4,8

### 3.3. Yağış – Akış İlişkisi

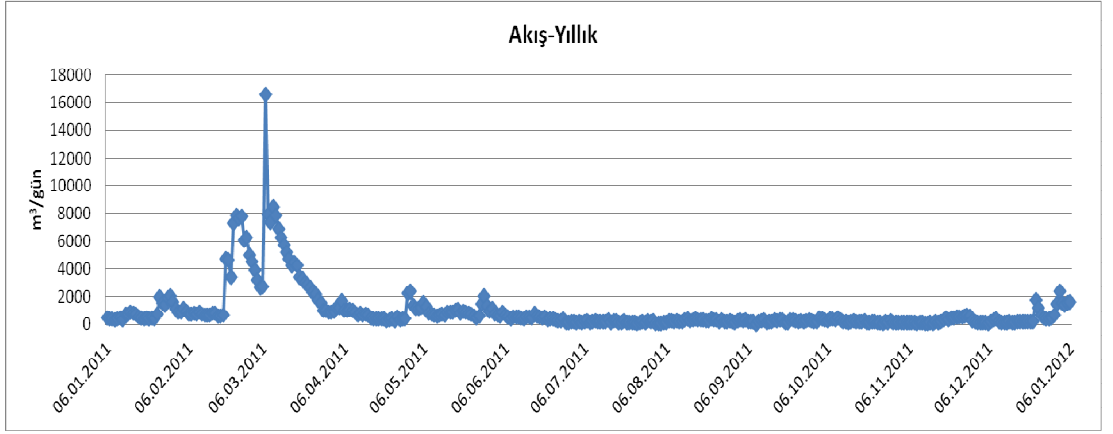
Bu bölümde havzanın yağış-akış ilişkisi araştırılmıştır. TÜBİTAK 109Y271 nolu proje kapsamında gölün doğu yakasında Mutlu Kasabasında bulunan Baharca Deresine Parshall savağı inşa edildi ve üzerine ultrasonik bir cihazla debi ölçümleri kayıt altına alındı. Parshall savağına yaklaşık 250 m. mesafede proje 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 anlık akım ölçümleri yapmakta aynı zamanda bölgeye çok yakın bir noktada meteoroloji istasyonu ile anlık yağış ve buharlaşmayı ölçmektedir. Bu durumda Gölyaka Kasabasındaki mevcut keson kuyulardan birine şamandıralı limnigraf kurulmuştur. Böylelikle yeraltısuyu seviyesi ölçülerek Mutlu kasabasında yapılan yağış-akış-yeraltısuyu ilişkisini Gölün batı yakasında da gerçekleştirmiştir.

Proje kapsamında ölçümü yapılan Mutlu yağış istasyonuna ait yağış verileri, Mutlu (baharca) deresi üzerine kurulan Parshall savağında ölçülen akış verileri ile birlikte Şekil 3.21. ve Şekil 3.22.'de verilmiştir.

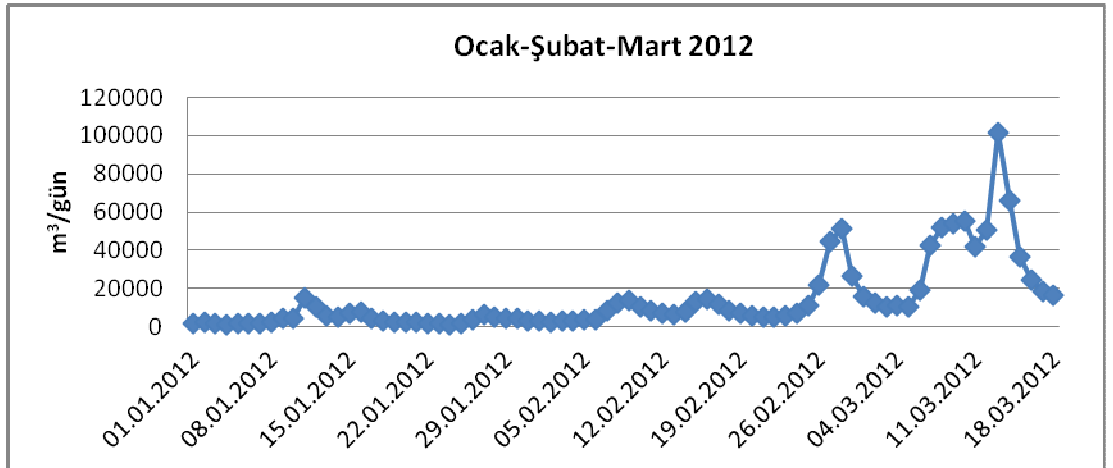
Şekil 3.22.'de debimetre cihazı ile Parshall savağından 2011 yılında ölçülen debiler, Şekil 3.23. ve Şekil 3.24.'de ise 2012 yılında ölçülen debiler ve yağışlar görülmektedir. Bu verilerin su yılı olarak incelenmesi istenmiş ancak ölçümler henüz 1 tam su yılını doldurmamışlardır. Şekil 3.25., 3.26., 3.27. ve 3.28.'de bütün ölçülen verilerin mevsimsel üçer aylık dönemlerdeki değişimi daha detaylı bir şekilde görülmektedir.



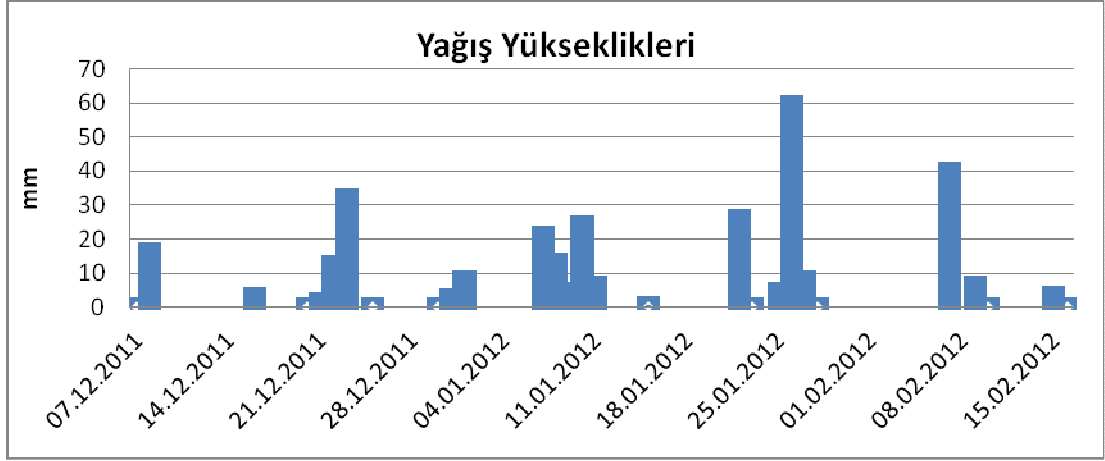
Şekil 3. 21. Mutlu Havzası Yağış Yükseklikleri (2011)



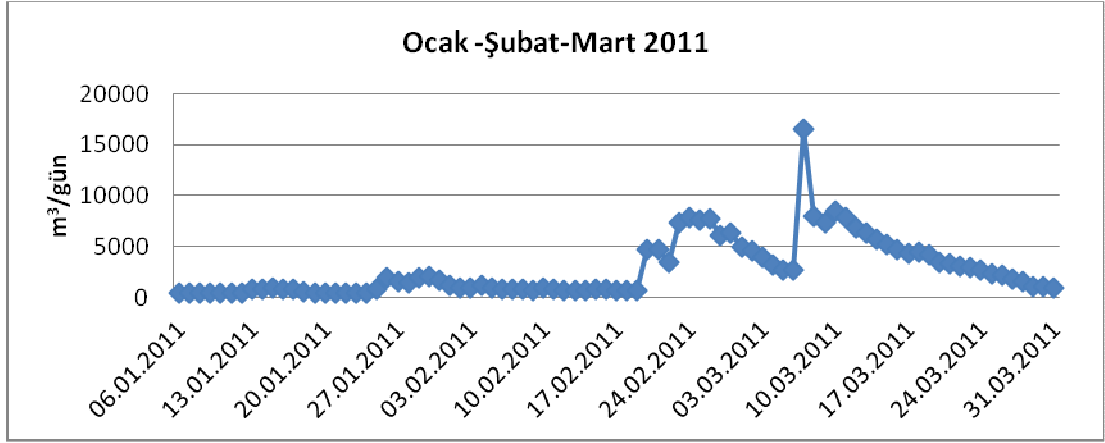
Şekil 3. 22. Baharca Deresi Parshall Savağında ölçülen debileri (2011)



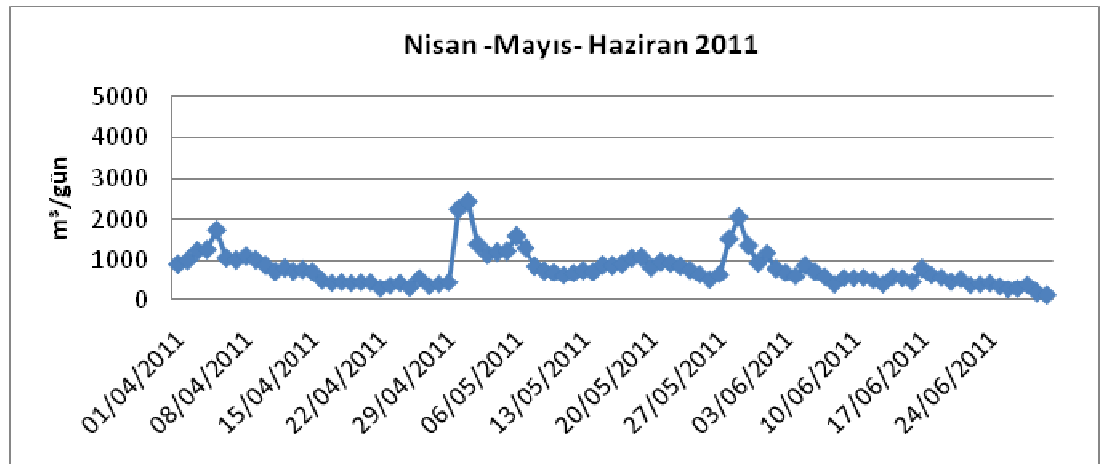
Şekil 3. 23. Baharca Deresi Parshall Savağında ölçülen debileri (2012)



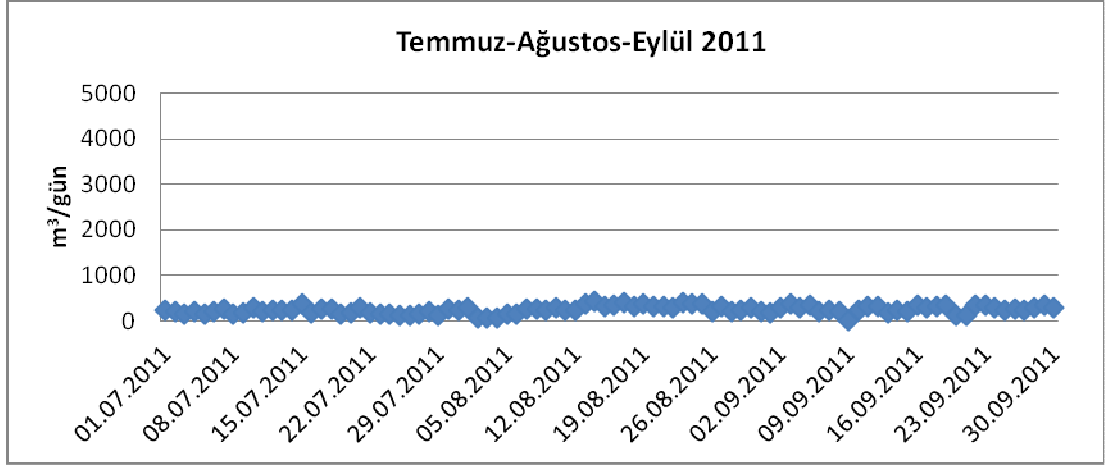
Şekil 3. 24. Mutlu Havzasında Baharca Deresinde ölçülen Yağış (2012)



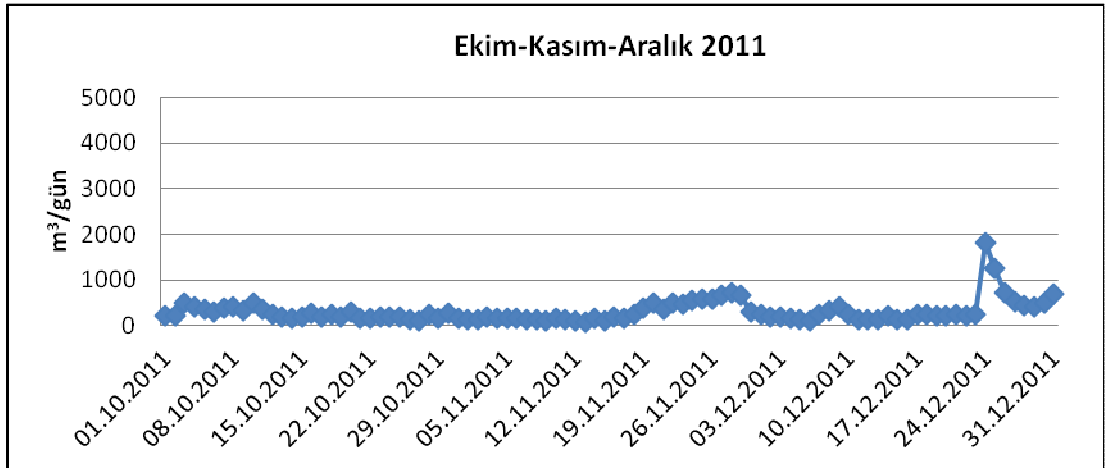
Şekil 3. 25. Baharca Deresi Parshall Savaşında ölçülen Ocak-Şubat-Mart 2011 debileri



Şekil 3. 26. Baharca Deresi Parshall Savaşında ölçülen Nisan-Mayıs-Haziran 2011 debileri



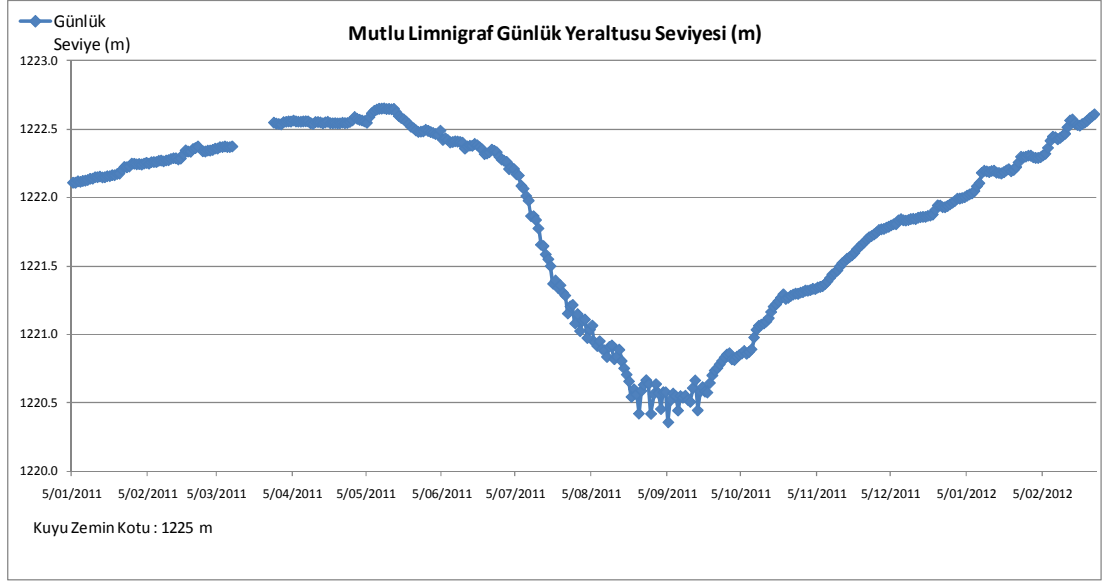
Şekil 3. 27. Baharca Deresi Parshall Savağında ölçülen Temmuz-Ağustos-Eylül 2011 debileri



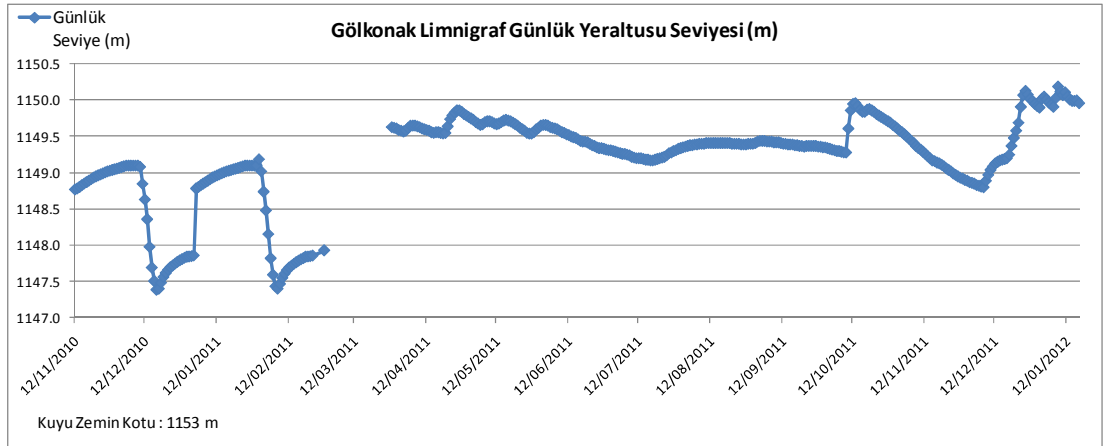
Şekil 3. 28. Baharca Deresi Parshall Savağında ölçülen Ekim-Kasım-Aralık 2011 debileri

Mutlu kasabesindeki üzerinde basınç sensorlu limnigraf olan kuyunun verileri Şekil 3.29.'da ve Gölkonak'taki üzerinde şamandıralı limnigraf olan kuyunun verileri de Şekil 3.30.'de verilmiştir. Şekil 3.29.'da görüldüğü gibi Mutlu'daki yeraltısu 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 limnigrafın alınan sonuçlarda zaman zaman ani düşmeler gözlenmektedir (Şekil 3.30.). Bu kuyu köy meydanında olduğu için kuyudan aşırı bir su çekimi olma ihtimali yüksek.



Şekil 3. 29. Mutlu kuyusundaki basınç sensörlü limnigrafıtan alınan YASS değişim grafiği



Şekil 3. 30. Gölkonak kuyusundaki şamandıralı limnigrafıtan alınan YASS değişim grafiği

### 3.3.1. Alt havza akarsu debilerinin hesaplanması

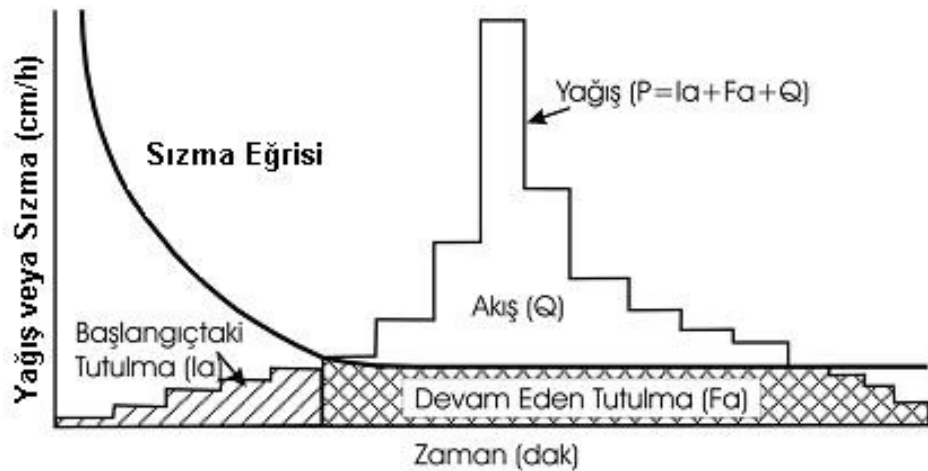
Bu bölümde alt havzalarda bulunan ve ölçüm verileri olmayan akarsuların debilerinin hesabı için izlenen yol ve yöntemlerden bahsedilmiştir. Üzerinde sürekli ölçüm istasyonlarının bulunduğu, gölün doğu yakasındaki Mutlu havzası ve gölün batı yakasındaki Hizar Deresi havzasında günlük yağış, akış ve yeraltısuyu seviyesi verileri mevcuttur. Mutlu havzasındaki ölçümler proje imkanları ile gerçekleştirilmiş, Hizar deresindeki yeraltısuyu 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 yöntemi:** 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 kuruluşunun 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. (SCS, 1972; SCS, 1987; Apaydın, 2004)

Bu yönteme göre yağış sonrası doğrudan yüzeysel akışa geçen su miktarı, yağış miktarından düşüktür veya toprak doymun 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 (Atıl, 2010). Şekil 3.31.’de Sızma-Tutulma ve Yağış Fazlasının Zamanla Değişimi görülmektedir (Chow vd.1988; Apaydın, 2007).



Şekil 3. 31. Sızma-Tutulma ve Yağış fazlasının zamanla değişimi

Yağış başladığında akış başlamadan önce zeminde bir miktar su tutulduğuna ( $I_a$ ) göre, potansiyel akım ( $P - I_a$ ) olmaktadır.  $P$  toplam yağış ve  $Pe$  yağış fazlası olmak üzere, SCS kuramı Denklem 3.1.'e dayanmaktadır.

$$Fa/S = \frac{Pe}{P - I_a} \quad (3.1.)$$

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

Süreklilik denklemine göre; Denklem 3.1.;

$$P = Pe + I_a + Fa \quad (3.2.)$$

şeklini alır.  $Pe$  aynı zamanda akış ( $Q$ ) olduğuna göre, SCS akım Denklemi 3.3. ve 3.4. şeklinde ifade edilmektedir.

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{((P - I_a) + S)} \quad P \geq I_a \text{ ise} \quad (3.3.)$$

$$Q = 0 \quad P < I_a \text{ ise} \quad (3.4.)$$

Burada  $I_a$ , 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 ( $I_a$ ), fazla tutulmanın ( $S$ ) %20'si civarında olduğu belirlenmiştir. Yapılan araştırmalarla bu değer % 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)

Eğer kayıplar, maksimum tutulmanın % 20'si ile hesaplanırsa (3.3.) Denklemi (3.5.) halini, % 10 ile hesaplanırsa (3.6.) halini almaktadır.

$$Q = \frac{(P-0.2S)^2}{(P+0.8S)} \quad (3.5.)$$

$$Q = \frac{(P-0.1S)^2}{(P+0.9S)} \quad (3.6.)$$

Burada maksimum tutulma olan S; (mm) olup (3.7.) Denkleminde hesaplanmaktadır.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (3.7)$$

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 (Hawkins, 1998; Apaydın, 2007).

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.

$$CN1 = \frac{CN2}{2,334 - 0,01334 \cdot CN2} \quad (3.8.)$$

$$CN3 = \frac{CN2}{0,4036 + 0,0059 \cdot CN2} \quad (3.9.)$$

Son 5 günlük yağış yüksekliği göz önüne alındığında mevsimlere göre verilmiş olan sınırlar ve eğri numaraları Çizelge 3.8.'de verilmiştir.

Çizelge 3. 8. Eğri Numaraları

Eğri Numarası	Eylül-Mart (mm)	Nisan-Ağustos (mm)
CN1	< 12.7	< 35.56
CN2	12.7 - 27,94	35.56 - 53.34
CN3	> 27.94	> 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 olacaktır. 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.

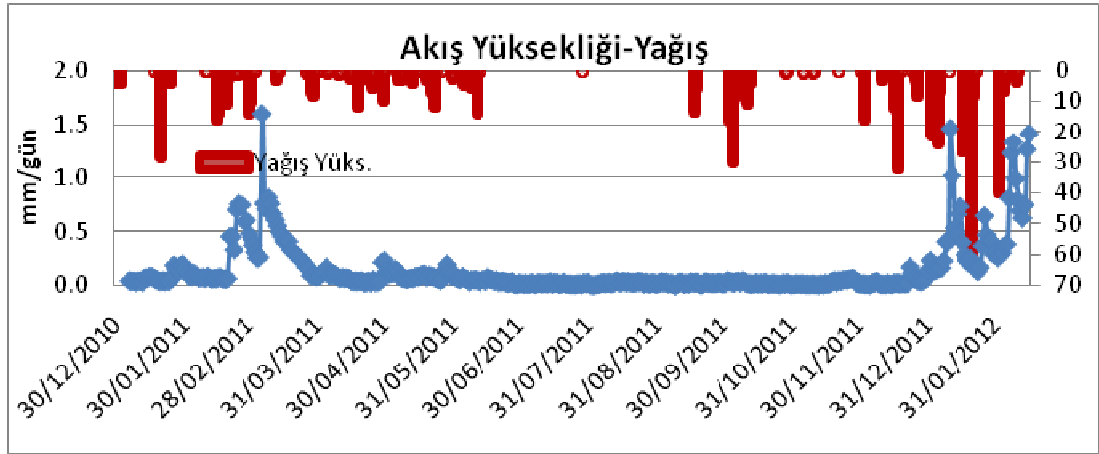
Uydu görüntülerinden elde edilen arazi kullanımı ile toprak haritalarının keşitirilmesi neticesinde elde edilen Mutlu havzasının ortalama CN değeri 72.66 dır. Ocak 2011 ve Şubat 2012 arasındaki Baharca Deresi Parshall savağından geçen toplam akış yüksekliği, bu kesitten geçen toplam su miktarının drenaj havzası alanına bölünmesiyle 57.71 mm olarak hesaplanmıştır. Aynı tarihlerdeki yağış yüksekliği ölçümleri ile akış yükseklikleri Şekil 3.32.'de aynı grafik üzerinde karşılaştırma amaçlı olarak gösterilmiştir. 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 ( $I_a$ ), maksimum tutulmanın ( $S$ ) %20'si ve

%10'u olduğu durumlarda elde edilen yeni eğri (CN) numaraları Çizelge 3.9.'da verilmiştir.

Çizelge 3. 9. Son beş günlük toplam yağış göz önüne alındığında Eğri Numaraları (CN)

la	CN2	CN1	CN3	Fark %
0.1 S	59,36	38,49	78,75	-22,4
0.20 S	66,5	45,96	83,55	-8,48

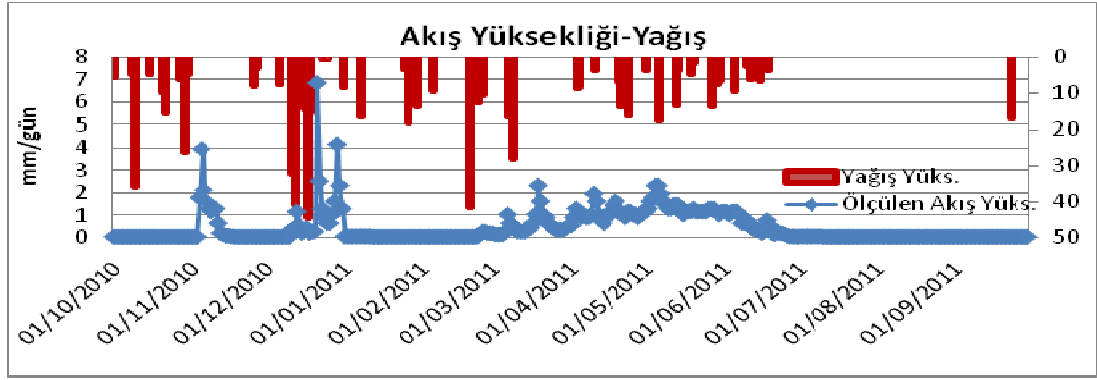
Bu durumda, uydu görüntüleri ile elde edilen CN değerinin %8.48 azaltılarak 66.5'e düşürülmesi ile yağış-akış arasındaki ilişkinin daha doğru temsil edileceği kanaatine varılmıştır. Mutlu deney havzasından elde ettiğimiz bu sonucu gölün doğu yakasındaki Kireli, Şarkikaraağaç ve Sarısu havzalarına da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



Şekil 3. 32. Yağış- Akış yükseklikleri (Mutlu Havzası)

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 3.33.'de görülmektedir. Ekim 2010-Eylül 2011 tarihleri arasında ölçülen toplam akım yüksekliği, toplam akışın havza alanına bölünmesiyle 147.76 mm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3. 33. Yağış- Akış yükseklikleri (Hizar Deresi-Yenişarbademli Havzası)

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.

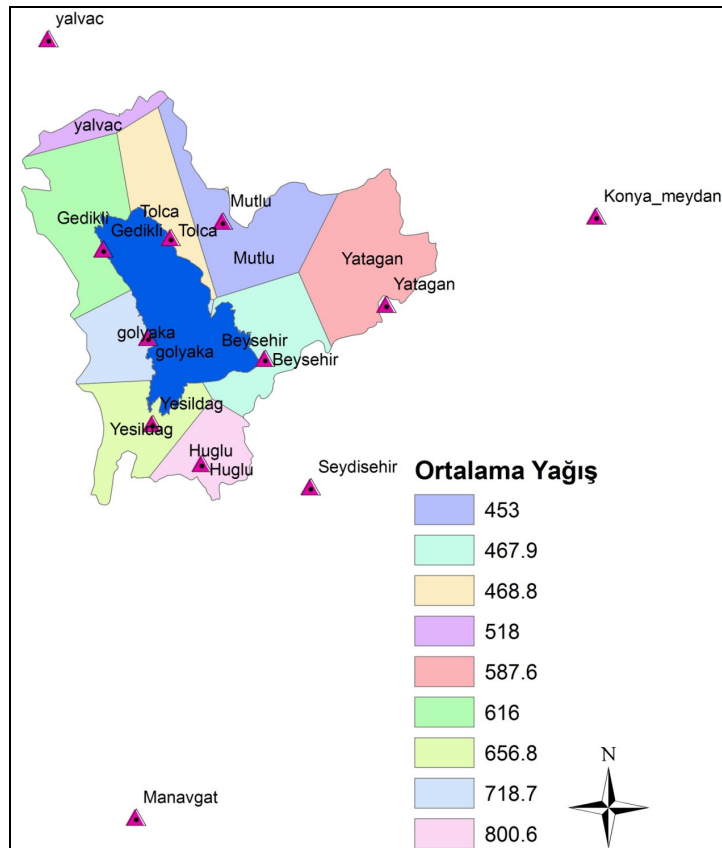
Böylelikle akış ölçümleri olmayan havzalarda yağış ölçümlerinden akışı hesaplanabilmesi için gerekli olan eğri numarasındaki düzeltmeler yaklaşık olarak belirlenmiştir. Uydu görüntüsü ve toprak haritasından elde edilen CN değerleri, gölün batı kısmındaki kireç taşlarının üzerindeki Gedikli, Yenişarbademli, 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 3.10.'da verilmiştir.

Çizelge 3. 10. Mutlu ve Gölyaka Deney havzalarına göre kalibre edilmiş CN değerleriyle Thiessen poligonlarına göre hesaplanmış yağış-akış katsayıları

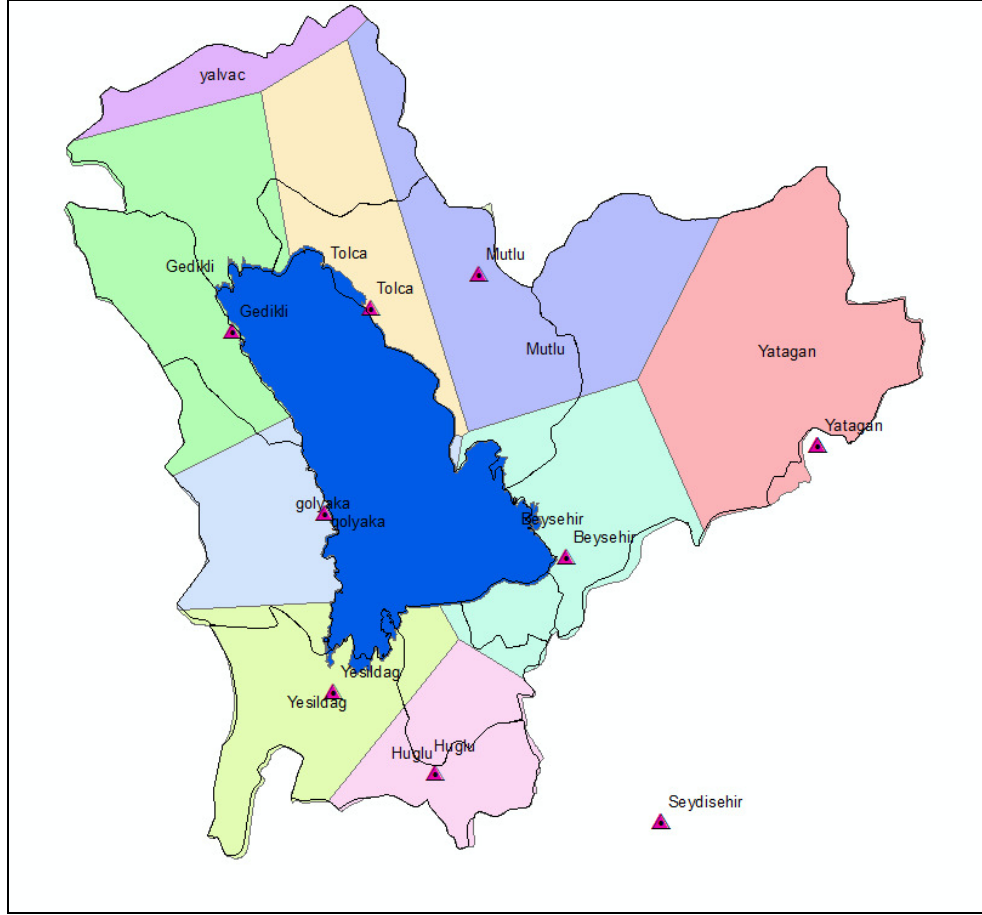
Thiessen Poligonu	CN <sub>normal</sub>	CN düzeltilmiş	̄ yağış yüks.	̄ SCS akış yüks.	Akış Katsayısı (%)
Mutlu*	72.66	66.50	441.2	57.7	13.1
Gölyaka*	87.81	81.61	673.7	147.8	21.9
Gedikli	76.74	71.32	577.7	62.5	10.8
Yeşildağ	80.88	75.17	603.4	89.7	14.9
Huğlu	79.02	73.44	855.3	155.9	18.2
Beyşehir	79.50	73.88	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.

Thiessen poligonları için belirlenen akışlar daha sonra GIS ortamında alt havzalarla kesiştirilerek her bir alt havzanın ortalama yağış ve akış değerleri hesaplanmıştır (Şekil 3.34., 3.35. ve Çizelge 3.11.).



Şekil 3. 34. Thiessen Poligon Yöntemine Göre Yağışların Dağılımı



Şekil 3. 35. Thiessen Poligon ile Alt havzaların Kesişimi

Çizelge 3. 11. Mutlu ve Gölyaka Deney havzalarına göre kalibre edilmiş CN değerleriyle alt havza alanlarına göre hesaplanmış yağış-akış ilişkisi

Alt Havzalar	CN	Alan (km <sup>2</sup> )	Akış Yüksekliği (mm)	Yağış Yüksekliği (mm)	Akış katsayısı (%)	Akış (hm <sup>3</sup> )	Yağış (hm <sup>3</sup> )
Kireli	76.96	491.78	57.34	447.96	12.80	28.20	220.28
Karadiken	73.99	57.49	46.58	450.00	10.35	2.68	25.87
Şarkikaraagac	69.45	588.58	48.92	496.69	9.85	28.78	292.22
sansu	77.49	1117.78	77.37	523.56	14.78	86.48	585.20
Gedikli	78.03	226.59	65.54	581.12	11.28	14.85	131.66
Yenişarbademli	84.4	323.95	126.96	649.75	19.54	41.11	210.40
Yeşildağ	80.28	427.98	112.36	689.64	16.29	48.07	295.05
Üstünler	78.34	165.09	123.52	733.61	16.84	20.39	121.11
Göl Alanı*	100	666.45	585.90	585.90	100.00	390.47	390.47
Toplam		4065.5				661.03	2272.26

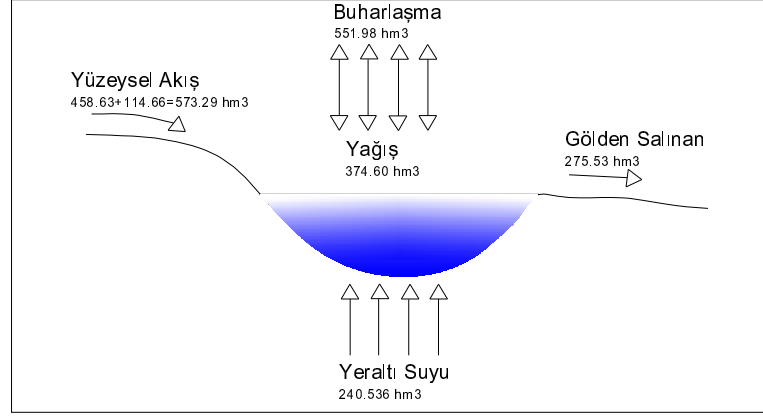


### 3.4. Su Bütçesi

Bu bölümde çalışma alanına ait 2010 yılı verileri için hazırlanmış su bütçesi hesabı yapılmıştır. DSİ ve DMİ'den 2011 su yılına ait tüm istasyonların verileri alınmadığından işlemleri 2010 su yılı için yapılmıştır. Bu hesaplar yapılırken sürekli ölçüm yapılan ve büyük derelerin toplam su gelirinin %80'i olduğu ölçülmeyen veya müteferrik olarak ölçülen yada direk yüzeysel akışla göle ulaşan sularında %20 olduğu varsayılmıştır. 2010 yılı su bütçesi hesapları Çizelge 3.12. ve Şekil 3.36.'da verilmiştir.

Çizelge 3. 12. Beyşehir Gölü Havzası su bilançosu hesabı

2010 BEYŞEHİR GÖLÜ HAVZASI AKIM VERİLERİ														
Suyun Adı	İstasyon Adı	EKİM	KASIM	ARALIK	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	YIL.TOP. (hm3)
Soğuksu	Yeşil dağ Köprü I.	0.56	4.57	44.90	28.80	58.80	20.30	8.66	8.13	7.05	5.87	3.62	2.42	193.68
Üstünler suyu	Üstünler	0.27	0.38	5.11	12.20	9.28	6.36	5.04	3.85	2.36	1.03	0.36	0.17	46.40
Sarısu	Eylıklar	2.68	3.85	6.11	10.20	9.71	8.93	4.68	2.89	3.02	1.03	0.65	0.82	54.58
Soğuksu	Yeşil dağ Köprü II.	1.31	4.96	6.13	23.30	27.00	27.10	28.50	16.20	6.39	2.94	1.57	1.11	142.41
Ozan deresi	Tolca	0.00	0.06	0.32	0.81	1.26	0.52	0.25	0.06	0.05	0.00	0.00	0.00	3.34
Çavuşköy deresi	Kireli	0.00	0.01	0.12	0.28	0.78	1.38	2.09	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	5.42
Hızır deresi	Gölyaka	0.00	1.20	2.11	1.64	3.19	2.31	1.28	0.75	0.29	0.04	0.00	0.00	12.81
													Toplam	458.63
2010 BEYŞEHİR GÖLÜ BUHARLAŞMA VERİLERİ														
Suyun Adı	İstasyon Adı	EKİM	KASIM	ARALIK	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	YIL.TOP. (mm)
Beyşehir Gölü	Beyşehir	70.70	14.70	0.00	0.00	0.00	0.00	58.80	112.00	114.80	161.70	175.00	125.27	832.97
Aylık Ortalama Alanlar (Km2)		644.2	645.1	647.61	653.9	662.00	668.33	669.8	670.21	669.20	666.50	661.03	656.40	YIL.TOP. (hm3)
Beyşehir Gölü	Beyşehir	45546.9	9483.5	0.0	0.0	0.0	0.0	39380.2	75064.5	76824.5	107773.1	115681.8	82225.5	551.98
2010 BEYŞEHİR GÖLÜ YAĞIŞ VERİLERİ														
Suyun Adı	İstasyon Adı	EKİM	KASIM	ARALIK	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	YIL.TOP. (mm)
Beyşehir Gölü	Beyşehir	14.2	73.7	123	89	59.4	18.8	66	22.5	83.4	4.5	7.8	7.5	569.80
Aylık Ortalama Alanlar (Km2)		644.2	645.1	647.6	653.9	662.0	668.3	669.8	670.2	669.2	666.5	661.0	656.4	YIL.TOP. (hm3)
Beyşehir Gölü	Beyşehir	9148.1	47544.8	79655.6	58194.9	39322.6	12564.7	44204.2	15079.8	55811.5	2999.3	5156.1	4923.0	374.60
2010 BEYŞEHİR GÖLÜ ÇIKIŞ VERİLERİ (REZERVUARDAN BIRAKILANLAR)														
Suyun Adı	İstasyon Adı	EKİM	KASIM	ARALIK	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	YIL.TOP. (hm3)
Beyşehir Gölü	Beyşehir	684	0	0	0	14551	42182	18971	32677	41522	49748	53525	21673	275.53



Şekil 3. 36. Su bütçesi hesabının grafiksel gösterimi (2010)

Bir göl havzasında su bütçesi hesabı yapılırken havzaya girenler (yağış, yüzeysel akış, ölçüm yapılmayan yüzeysel akış, yer altı suyu) ve çıkanlar ( buharlaşma, gölden salınım) ikisinin farkı gölde depolanan suyu verecektir ( Denklem 3.10). Havzaya girenler olarak ölçülen yüzeysel akış, ölçüm yapılmayan yüzeysel akış, yağış ve yeraltından beslenimin toplanması ile bulunmuştur (Denklem 3.11.). Burada yeraltından beslenim bilinmediği için YB olarak alınmıştır. Havzadan çıkanlar ise gölden salınan ve buharlaşma toplanarak 827,51 hm<sup>3</sup> hesaplanmıştır (Denklem 3.12.). Gölde depolanan su ise 2009 ile 2010 yılları arasındaki hacim farkından hesaplanmıştır (Denklem 3.13). Tüm bu hesaplamaları Denklem 3.11., 3.12. ve 3.13.'ü Denklem 3.10.'da yerine koyduğumuzda yeraltından beslenimi 240,536 hm<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır (Denklem 3.14.).

$$\sum \text{GİRENLER} - \sum \text{ÇIKANLAR} = \text{GÖLDE DEPOLANAN HACİM} \quad (3.10.)$$

$$\text{GİRENLER} = \text{Ölçülen Yüzeysel Akış} + \text{Ölçüm Yapılmayan Yüzeysel Akış} + \text{Yağış} + \text{Yeraltından Beslenim}$$

$$458,63 + 114,66 + 374,6 + \text{YB} = 947,89 \text{ hm}^3 + \text{YB} \quad (3.11.)$$

$$\text{ÇIKANLAR} = \text{Gölden Salınan} + \text{Buharlaşma}$$

$$275,3 + 551,98 = 827,51 \text{ hm}^3 \quad (3.12.)$$

DEPOLANAN SU= (Göl Kotu<sub>Eylül 2010</sub> - Göl Kotu<sub>Ekim 2009</sub>) Göl Alanı

$$(1122,735-1122,18)*(656,4+644,2)/2 = 360,916 \text{ hm}^3 \quad (3.13.)$$

$$\text{Yeraltından Beslenim} = 360,916+827,51-947,89 = 240,536 \text{ hm}^3 \quad (3.14.)$$

Beyşehir gölü havza alanı (modellenen alan) 4117,5 km<sup>2</sup>'den göl alanı 666,45 km<sup>2</sup> çıkartıldığında havzadaki yeraltısuyu beslenim alanı olarak 3398,59 km<sup>2</sup> olarak bulunur. Bölgesel yağış ortalaması 575 mm olduğuna göre, bu yağışın yaklaşık %12'nin yeraltı suyuna beslenim olarak ulaştığı varsayılırsa havzanın yeraltısuyu beslenimi yaklaşık 234.5 hm<sup>3</sup> olacağı beklenmektedir. Bu rakamla gölün yeraltından beslenimi birbirini % 97.5 oranında tutmaktadır ki bu durum da yapılan bütçe hesabının tutarlı olduğunu göstermektedir.

### 3.5. Bölgesel Jeoloji

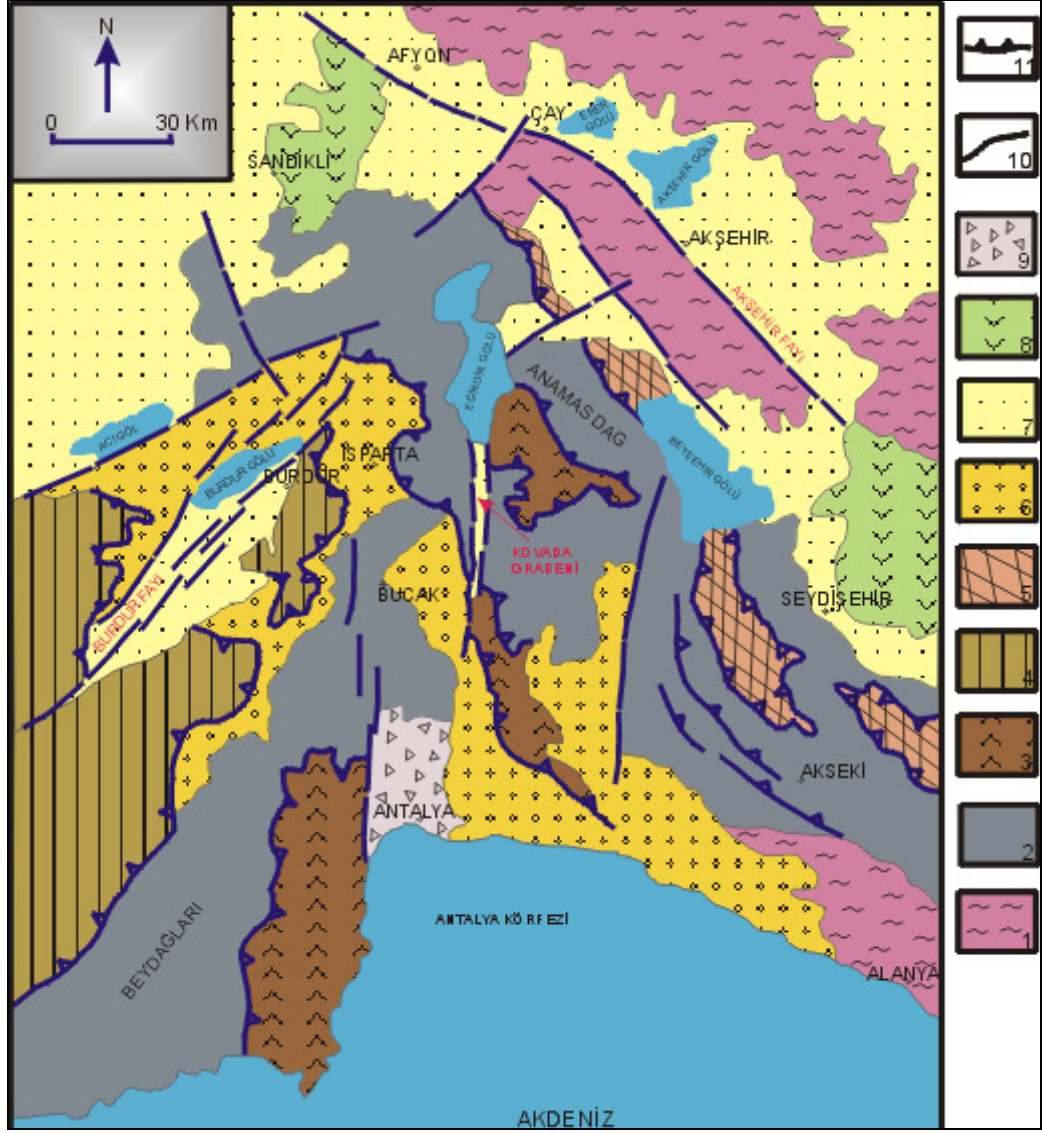
Ketin (1966), tarafından Toridler olarak isimlendirilen çalışma alanının da içinde bulunduğu bölge bugünkü yapısını Alpin orojenezi ile kazanmıştır. Antalya Körfezi kuzeyinde, Toroslar'ın sivri ucu kuzeye doğru yönelmesi sonucunda yaklaşık ters "V" şeklini almıştır. Bu tektonik alan Blumenthal (1963) ve Koçyiğit (1981) tarafından "*Isparta Büklümü*", Brunn (1976), ve Şengör (1980) ise "**Isparta Açısı**" olarak tanımlanmıştır. Isparta büklümü Türkiye'nin neotektonik bölgelerinden biri olarak tanımlanan Orta Anadolu ovalar bölgesinin güneybatı ucunda Ege graben sisteminin de hemen doğusunda bulunmaktadır (Boray vd., 1985). Isparta Büklümünü K-G yönde yaklaşık 180 km, D-B yönde 100 km genişliğinde üçgen şekilli, KD yönlü Burdur fayı ve KB yönlü Akşehir fayı arasında yer aldığını ve üç kırıkla karakterize edilmektedir (Yağmurlu vd., 1997) (Şekil 3.37.).

Poisson (1977) Üst Miyosen'de (Tortoniyen sonrası) büklümün doğu kanadının batı kanadı olarak tanımlanan Aksu bindirmesi üzerine bindirdiğini ifade etmiştir. Atalay (1975) ve Erol (1981), bu tektonik bölge içerisinde bulunan göl alanlarının normal faylarla oluşmuş çökme havzaları olduğuna belirtmiştir. Bölgedeki aktif tektonik aktivitenin en önemli göstergesi ise bölgede görünen yapısal kökenli

deformasyondur. Günümüzde tektonik yönden aktif olan Göller Bölgesi, eski jeolojik devirlerde de yapısal gerilmelerin etkisi altında kalmış ve değişik tür kıvrımlı, kırıklı, bindirmeli ve faylı yapılar gelişmiştir. Karaman (1994)'e göre Isparta Büklümü'ne Likya napları batı yönden, Beyşehir-Hoyran ofiyolitik napları ise doğu yönde bindirir. Önceki çalışmalar, Likya ve Beyşehir-Hoyran naplarının her ikisinin de, Orta Tersiyer boyunca Mesozoyik karbonat istifi olarak adlandırılan Beydağları ve Anamas-Akseki platformları kuzeyden güneye yerleştiğini ortaya koymaktadır.

Çalışma alanındaki neotektonik hareketlere baktığımızda, Kaledoniyen ve Hersiniyen dağ oluşum hareketleri ile bölgedeki birimler kıvrımlı ve bindirmeli bir iç yapısını kazanmışlardır. Alpin hareketlerle ise bölgede naplı bir yapıyı etkisini göstermiş ve sonra yoğun olarak genç tektonik (neotektonik) hareketler etkili olmuştur. Eren (1990), karasal çökellerin fasiyeslerinden ve yerel jeomorfolojik özelliklerinden çalışma alanının Üst Miyosen ve sonrasında blok faylanmaların etkisinde kaldığını ifade etmiştir. Buna bağlı faylar ile Sultandağları KB-GD uzantılı bir horst yapısı kazandığını ve Sultandağları horstunun güneybatı sınırını belirleyen faylar Üst Miyosen-Pliyosen zaman aralığında evrimini tamamladığı ve sönmüldüğü için jeolojik ve morfolojik olarak fayın izi belirsiz olduğunu belirtmiştir.

Kerey (1987)'ye göre çalışma alanı kuzeyinde yer alan Sultandağı Formasyonu'nun GB-KD doğrultulu bir sıkışmaya uğradığı belirtilmiştir. Bu sıkışmalar, çalışma alanının GD'da Lütésiyen esnasında, platform karbonatları üzerinde yer alan Beyşehir-Hoyran naplarını oluşturan sıkışmalarla aynı yaşta olmadığı ortaya konmuştur (Gutnic vd. 1968, Koçyiğit 1983). Çalışma alanı ve yakın dolayında hemen hemen hiçbir yerde Sultandağı Formasyonu'nun ofiyolitik birlik üzerine bindirdiği gözlenmemekte olup, en azından bindirmenin yaşı neotektonik bir olay olmayıp Lütésiyen öncesini refere etmektedir. Bölge Üst Jura'dan – Meastrihtiyen'e kadar sığ deniz özelliğini korurken, bu özellik Meastrihyen'de aniden değişmekte ve havza ters fayların denetiminde çökmektedir. Havzanın güneyini sınırlayan ters fay ise büyük bir olasılıkla Lütésiyen'de gelişen Beyşehir-Hoyran naplarının altında kalmıştır.



Şekil 3. 37. Isparta bölgesinin basitleştirilmiş jeolojik haritası (Yağmurlu, 2004)  
 (1) Metamorfik kayalar (Paleozoyik), (2) Karbonat Kayalar (Mesozoyik), (3) Antalya Napları, (4) Likya napları, (5) Beyşehir-Hoyran napları, (6) Denizel Tersiyer tortulları, (7) Karasal Neojen tortulları, (8) Neojen volkanitleri, (9) Antalya travertenleri, (10) Normal faylar, (11) Bindirme fayları

Yapısal Evrim; Üst Jura'dan bu yana kara halinde bulunan Sultandağı, büyük olasılıkla Oligosen sonuna kadar devamlı aşınmaya uğraşmıştır. Üst Oligosen'de oluşan Alpin tektonik hareketleri, Sultandağı'nın kuzey ve doğu yamacı boyunca çalışma alanı dışında yer alan eğim atımlı normal fayları oluşturmaktadır. Dağın blok halinde yükselmesiyle şiddetli bir aşınma ve birikme evresine geçilmiştir. Vadi kesitlerindeki gençleşme basamaklarında da görülebileceği gibi, büyük olasılıkla Miyosen başındaki Üst Alpin hareketleri sonucunda, bölgede Üst Oligosen'de oluşan

faular yeniden genleşmiştir. Bu faylanmalar sonucunda Sultandağı tekrar yükselmiş, çalışma alanı dışında bulunan Akşehir ve Eber gölleri ise yeniden çökmüştür (Demirkol vd. 1977). Hacıalabaz Formasyonu Kimmeriyen sonu ve Austik fazından çok etkilenmiştir.

Çalışma alanının kuzey bölümünde yer alan allokton ofiyolit karmaşığının bölgeye yerleşimi Koçyiğit (1983), tarafından Üst Lütésiyen sonu olarak belirtilmiştir. Bölgedeki ofiyolit karmaşığının ve allokton kireçtaşı naplarının Orta Miyosen yaşlı gösel tortullar tarafından uyumsuz olarak üstlenmiş olması, yöredeki kireçtaşlarına ait allokton naplarının ofiyolitler üzerine en geç Orta Miyosen başında yerleşmiş olabileceğini yansıtmaktadır. Poisson vd. (1984) ile Karaman (1994), Isparta güneyinde Beydağ Kireçtaşlarına ait Akdağ ve Davraz Dağı karbonat masiflerinin Burdigaliyen yaşlı tortulları bindirmeli bir dokanakla üstlediğini belirtirler.

Yağmurlu (1990)'ya göre bu verilerin tamamı, Orta Miyosen başında (Langiyen) bölgeyi büyük olasılıkla K-G doğrultusunda etkileyen önemli bir sıkışma rejiminin varlığını simgelemektedir.

Langiyen'de gelişen sıkışma rejiminin etkisiyle bölgede KB ve KD gidişli doğrultu atımlı faular ile D-B egemen uzanımlı bindirme fauları ve K gidişli normal faular gelişmiştir (Dumont ve Kerey, 1975; Karaman, 1990; Akay ve Uysal, 1988). Langiyen sıkışma rejimini izleyen dönemde oluşan çekme tektoniğine bağlı olarak, daha önce doğrultu atımlı fay olarak etkin olan KB ve KD kırıklar eğim atımlı normal faulara dönüşmeye başlamış olmalıdır.

Neojen döneminde kuzeybatı-güneydoğu yönelimli faylanmaların bir sonucu olarak Beyşehir Gölü'nün de içerisinde yer aldığı Neojen havzası şekillenmeye başlamıştır. Fakat havzanın bugünkü şeklini almasında Üst Pliyosen'de meydana gelen faylanmalar etkili olmuş ve bu dönemde Beyşehir Gölü çanağı çökmüştür. Özellikle bu dönemde Yalvaç Neojen havzasında aşınmalar devam ederken Beyşehir Neojen havzasında Üst Pliyosen yaşlı tortullar çökelmeye başlamıştır. Çalışma alanının güneybatısında kalan Erenler-Alacadağ civarında meydana gelen volkanik aktiviteye bağlı oluşan volkanik oluşumlar Beyşehir Gölü Çanağı'na kadar gelerek Üst Pliyosen yaşlı tortullar ile birlikte çökelmiştir. Son olarak Kuvaterner başlarında

Pleyistosen’de meydana gelen tektonik aktivite ile gölün özellikle batısında çökme olmuş ve devam eden çökme ile birlikte göl alanı bugünkü konumunu almıştır (Kazancı, 2003).

Çalışma alanını da içeren Beyşehir-Seydişehir Neojen Havzalarının, Akşehir ve Eğirdir Havzaları ile Neojende bağlantılı olduğu bilinmektedir. Zaman içerisinde iklimdeki değişiklik ve tektonik aktivite sonucunda morfolojideki değişimler meydana gelerek komşu havzalar birbirinden ayrılmıştır. Benzer şekilde kıta oluşum hareketleri sonucunda Beyşehir havzası, Seydişehir Neojen havzasından ayrılmıştır.

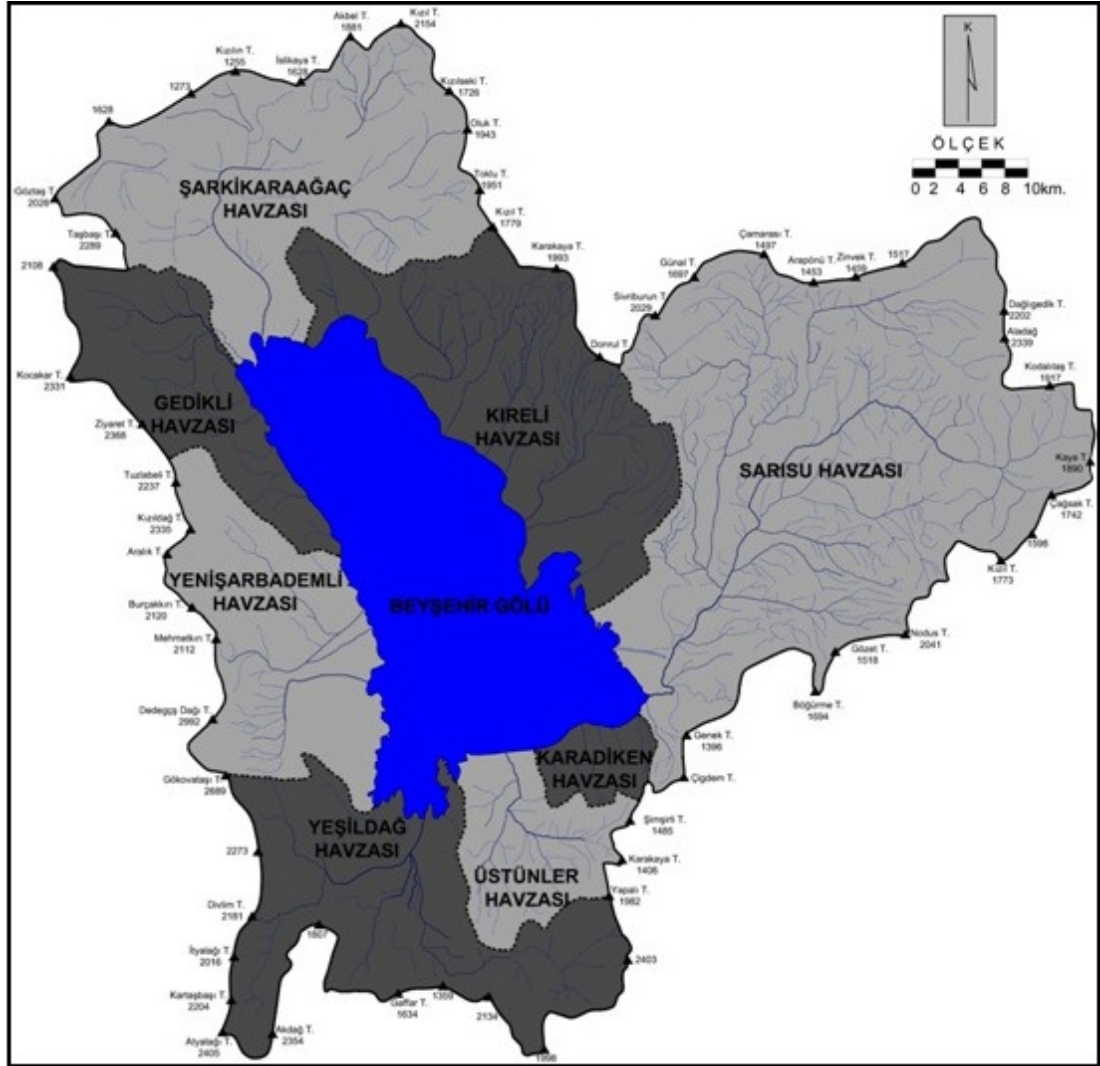
Şen (1989), Biricik (1982) ve Tunay (1995)’e göre Geç Miyosen döneminde denizin çekilmesini takiben ortaya çıkan kıta oluşum hareketleri sonucunda tabanda ortaya çıkan çukur bölümlerde tatlı su içeren Beyşehir ve Suğla Gölleri oluşmuştur. Gölün batı kenarını sınırlandıran ve halen aktif olan faylar, Beyşehir Gölü depresyonunun oluşmasına neden olmuştur. Gölün en derin bölgelerinin batı kıyısına yakın olması, buradaki fayların halen aktif olduğunu ve yakın tarihli çökmelere işaret etmektedir. Kubadabat Sarayı önüne, 1235 yılında yapılan iskelenin 60-70 cm.’ye yakın bölümü günümüzde su altında kalmıştır. Bu durum, 1235 yılından beri bir çökmenin olduğunu göstermektedir. Yıllık çökme miktarı Bunun yanında gölün doğu kıyıları yükselirken batı kıyıları da çökmektedir. Göl tabanında Üst Pliyosen oluşumları, gölün batı kıyısına kadar uzanır (Ayhan vd., 1992).

Toros karst kuşağı içerisinde yer alan çalışma alanının bugünkü yapısını kazanmasında tektonik hareketler kadar karstlaşmada etkin bir rol oynamıştır. Karstlaşma, Neojende daha ileri düzeyde ortaya çıkmıştır. Toros Dağları’nın yükselmesini takiben bölgedeki karstlaşma süreci ilerlemiş ve yüzeydeki akarsu ağının yeraltı drenajı şekline geçmesi sağlanmıştır (Atalay, 1982).

### **3.6. Hidrojeoloji**

Beyşehir Gölü beslenme havzası 4117,5 km<sup>2</sup>’lik bir alana sahip olmakla birlikte 8 tali havzaya ayrılmıştır. Çalışma alanındaki tali havzalardan en büyüğü olan Sarısu havzası 1117,78 km<sup>2</sup>, kuzeyde Şarkikaraağaç havzası 588,58 km<sup>2</sup>, doğuda Kireli havzası 491,78 km<sup>2</sup>, güneyde Yeşildağ havzası 427,98 km<sup>2</sup>, batıda Yenişarbademli

havzası 323,95 km<sup>2</sup>, kuzeybatıda Gedikli havzası 226,59 km<sup>2</sup>, güneyde Üstünler havzası 165,09 km<sup>2</sup> ve güneybatıda Karadiken havzası 57,49 km<sup>2</sup>'lik bir alan kaplamaktadır. Çalışma alanı içerisinde yer alan Beyşehir Gölü'nün 1121 m kotundaki yüzey alanı ise 665,8 km<sup>2</sup>'dir (Şekil 3.38.).



Şekil 3. 38. Beyşehir Gölü beslenme havzası tali havzalar haritası

Beyşehir Gölü kotu 1121 m.'dir. Yüzey alanı 656 km<sup>2</sup> dir. Gölün işletme geliştirme çalışmalarına göre normal su kotu 1123 m, minimum su kotu 1117,5 m ve yıllık ortalama çekilecek su miktarı  $592 \times 10^6$  m<sup>3</sup>'tür. Gölün beslenmesi yağıştan, yüzeysel akıştan, yeraltı suyu akışı ile boşalımı ise buharlaşma, yeraltı akışı yani sızma ile sulama suyu ve kullanma suyu alınması ile gerçekleşmektedir. Göl alanının geniş olması sebebiyle göl alanından buharlaşan su miktarı kaybı önemlidir. Gölün kaçaklarla su kaybı, Aralık ayı başı ile Mayıs sonu Haziran başında olmaktadır. Bu kaçaklar, göl kotu 1123 m seviyesine ulaştığında başlamaktadır (Ekmekçi, 1987).



Gölün batı kıyısındaki düdenle, bu kotun üzerinde olduğu için bu düdenlerden kaçak olmadığı kabul edilebilir. Bu durumda, gölden kaçakların seviyeye bağlı olduğu söylenebilir. En büyük kaçak miktarı 29,7 m<sup>3</sup>/sn ile 1976 Mart ayında saptanmıştır. Ortalama kaçak miktarı ise 5 m<sup>3</sup>/sn'dir.

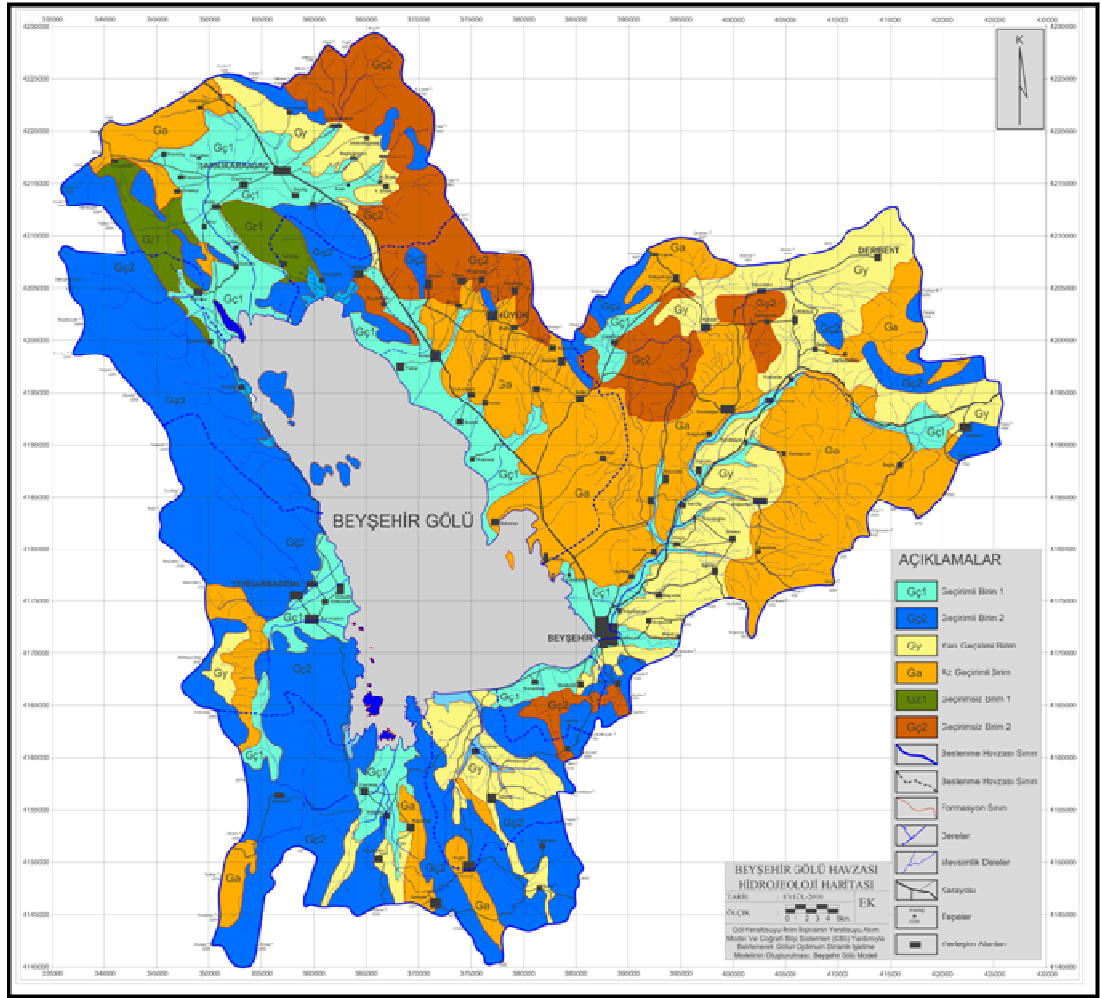
### 3.7. Jeolojik Birimlerin Hidrojeolojik Özellikleri

Beyşehir gölü, Pliyosen sonunda meydana gelen tektonik hareketler sonucu gelişen faylanmaya bağlı olarak Beyşehir Çanağı olarak adlandırılan şu anki göl alanının çökmesi ile oluşmuştur. Dolayısıyla Beyşehir Gölü beslenme havzası tektonik açıdan son derece aktif ve karmaşık bir jeolojiye sahiptir. Genel jeoloji haritasının hazırlanması sırasında havzada yüzeylenen birimler ayrıtlanmış fakat bölgenin tektonizması ve stratigrafisi net olarak belirlenememiştir. Beyşehir Gölü havzasında yer alan birimler Anamas Dağları Grubu, Sultan Dağları Grubu ve Beyşehir-Hoyran Hadim napları olmak üzere üç farklı stratigrafik istifin olduğu dikkati çekmektedir. Dolayısı ile son derece karmaşık olan bölgenin stratigrafisinin ayrıntılı çalışılması bu projenin temel amacı olmaması dolayısıyla, sadece amaca yönelik olarak jeolojik harita alımı sonucunda modellemeye uygun olarak hidrojeoloji haritası hazırlanmıştır (Şekil 3.39.).

Bu bölümde çalışma alanında bulunan jeolojik birimler hidrojeolojik özelliklerine göre ayrıntılı olarak incelenecektir. Jeolojik birimler fiziksel özellikleri, sondaj loglarından elde edilen bilgiler ve hidrojeolojik özellikleri dikkate alınarak Geçirimli (Gç), Yarı Geçirimli (Gy), Az Geçirimli (Ga) ve Geçirimsiz (Gz) olmak üzere dört sınıfa ayrılmıştır.

Alüvyon, yamaç molozu, kireçtaşları Geçirimli (Gç) birimi oluşturmaktadırlar. Farklı hidrojeolojik özelliklerinden dolayı alüvyon ve yamaç molozu Geçirimli (Gç1) birim, Kireçtaşları ise Geçirimli (Gç2) birim olarak sınıflandırılmıştır.

Beyşehir Neojen havzasının, komşu havzalar olan Konya-Akşehir ve Eğirdir-Yalvaç havzaları ile irtibat halinde olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla hidrojeoloji haritası hazırlanırken Beyşehir havzasındaki litolojilerin diğer komşu havzalardaki litolojiler ile karşılaştırılması yapılarak hidrojeoloji haritası hazırlanmıştır (Şekil 3.39.).



Şekil 3. 39. Beyşehir Gölü Havzası hidrojeoloji haritası

Çalışma alanındaki Tersiyer yaşlı tortullar genellikle tek bir birimden oluşmayıp farklı litolojik bileşimlerin ardalanması şeklinde görülmektedir. Bu Tersiyer yaşlı tortul kayalar içerisinde bulunan litolojilerin hidrojeolojik özelliklerine bağlı olarak Yarı Geçirimli (Gy) ve Az Geçirimli (Ga) olarak ayrılmışlardır. Yarı Geçirimli (Gy) birim olarak genellikle karbonat çimantolu ara katkı ve kireçtaşı düzeyleri bulunan kumtaşı, çakıl taşı ve konglomera ardalanmalı litolojiler alınmıştır. Az Geçirimli (Ga) birim olarak genellikle silisli şist arakatlı, radyolarit, marn, çamurtaşı, kiltası ardalanmalı litolojiler ayrılmıştır. Dolayısı ile literatür taraması sonucunda önceki çalışmalarda yapılan adlandırmalarla da tutarlılık göstermektedir.

Çalışma alanında bulunan geçirimsiz birimler Beyşehir-Hoyran Hadim Naplarına bağlı allokon konumlu Marmaris Peridotiti veya Hoyran Ofiyoliti Geçirimsiz Birim

(Gz1) ve Seydişehir Formasyonu veya Sultandede Formasyonu olarak isimlendirilen metamorfik seri ise Geçirimsiz Birim (Gz2) olarak adlandırılmıştır.

### **3.7.1. Geçirimli birim (Gç1)**

Alüvyon ve yamaç molozundan meydana gelen geçirimli birim (Gç1), en büyük yüzey alanını kuzeyde Şarkikaraağaç havzasında vermekte güneye doğru uzanarak Beyşehir Gölü kıyılarına kadar uzanmaktadır. Alüvyon, Beyşehir Gölü doğusunda kıyı şeridi boyunca güney'e doğru uzanım göstermektedir. Geçirimli Birim (Gç1), Beyşehir yerleşim alanı civarında ise değişen topoğrafya ile dere yataklarını takip eden dar bir koridor şeklinde havzanın kuzeydoğusuna doğru iç kesimlere kadar ve göl kenar çizgisini takiben güneye doğru dar bir şerit şeklinde 509 km<sup>2</sup>'lik alana yayılmaktadır. Geçirimli Birim (Gç1), havzanın genelinden farklı olarak doğu kesimlerde yüksek rakımlardaki düzlük alanlarda geniş alanlar kaplamaktadır. Birim, Yeşildağ yerleşiminden güneye doğru iki farklı dere yatağını takiben içerilere uzanan birim 38 km<sup>2</sup>'lik alanda yüzeylenmektedir. Birim benzer şekilde Beyşehir Gölü güneybatısındaki Yenişarbademli yerleşiminden dere yataklarını takip ederek güneye kadar giren birim 59 km<sup>2</sup>'lik bir alan kaplamaktadır (Bkz Şekil 3.39.).

### **3.7.2. Geçirimli birim (Gç2)**

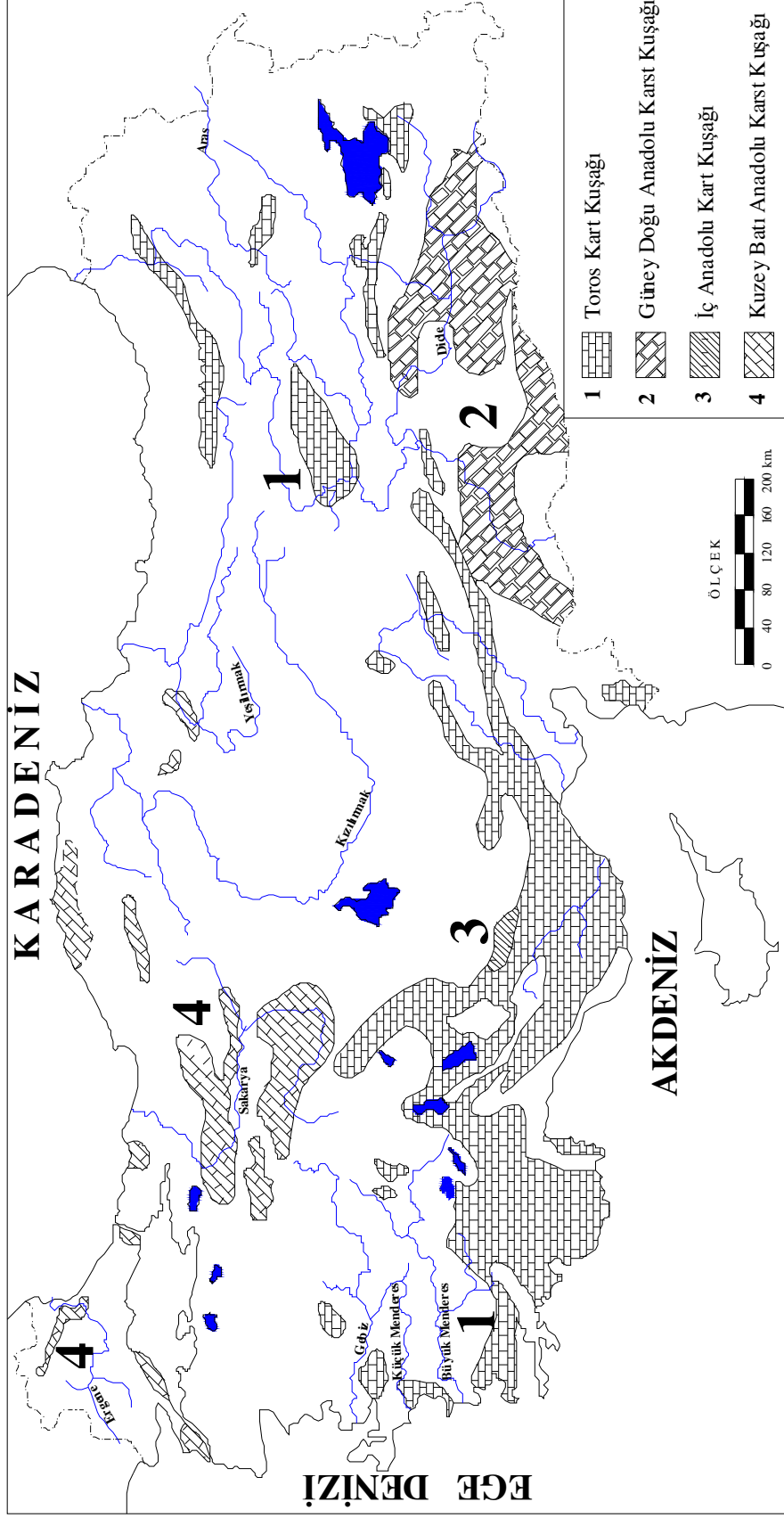
Çalışma alanında yüzeylenen kireçtaşları kırıklı-çatlaklı ve erime boşluklu yapılarından dolayı geçirimli birim (Gç2) olarak sınıflandırılmıştır. Birim içerisinde Anamas Dağları Grubuna ait Mesozoyik yaşlı Kireçtaşları, Sultan Dağları Grubuna ait Karbonifer ve Permian yaşlı Kireçtaşları ile her iki grubunda temelini oluşturan dolomit, dolomitik kireçtaşı ve yumru kireçtaşı içeren Çaltepe Formasyonu tanımlanmıştır. Bu birim içinde bulunan litolojilerin ortak özelliği, sahip oldukları kırık, çatlak ve erime boşluklarından dolayı karstik akifer özelliği taşımalarıdır. Bölgedeki karstik kireçtaşları da çatlak ve erime boşluklarında yeraltısuyu bulundurması bakımından büyük bir potansiyel oluşturmaktadır. Karstik kayalar Türkiye yüzölçümünün yaklaşık % 20'sini kaplamaktadır. Akdeniz bölgesinde Toros sıradağlarını şekillendiren kireçtaşlarından oluşan Toros Karst Kuşağı, Türkiye'nin en büyük karst kuşağıdır (Bkz. Şekil 3.40.). Toros Karst Kuşağı'nın batısında Eğirdir, Akşehir ve Eber gölleri arasında kalan çalışma alanının yaklaşık % 35'i karstik kireçtaşlarından oluşmaktadır. Kireçtaşları çalışma alanının batı kenarlarında

yüksek topoğrafya boyunca yüzeilenmektedir (Bkz Şekil 3.39.). Bu yüksek topoğrafyadan havza içlerindeki daha penetlen topoğrafya ya doğru gidildikçe kireçtaşlarının derinlikleri giderek artmaktadır.

### **3.7.3. Yarı geçirimli birim (Gy)**

Genellikle Tersiyer yaşlı olan birimler her üç Anamas Dağları Grubu, Sultan Dağları Grubu ve Beyşehir-Hoyran Hadim Napları içerisinde de yer almaktadır. Arazi çalışmaları sırasında zaman zaman birimlerin çok girift olmaları sebebiyle ayrıtlanmalarında güçlükler yaşanmıştır. Çalışmanın stratigrafik ayrıtlamadan çok amacına uygun olarak birimlerin hidrojeolojik özellikleri dikkate alınarak çalışılmıştır. Bu birimi oluşturan Tersiyer yaşlı bu tortullar genellikle karbonat çimentolu, çakıltaşı, kumtaşı ve konglomera gibi geçirgen litolojilerin ardalanmasından oluşmaktadırlar. Fakat zaman zaman çamurtaşı ve kiltası ardalanmaları olması sebebiyle geçirgenlikleri düşmekte ve tam bir akifer özelliği göstermemektedirler.

Birim Şarkikaraağaç'ın doğusunda, Yenişarbademli'nin batısında ve Yeşildağ'ın güneyinde küçük alanlarda yüzeilenmektedir. Birimin çalışma alanında yüzeildiği en geniş alan, Beyşehir'den kuzeydoğuya doğru Derbent'e kadar uzanan dar bir koridorda ve Derbent civarında görülmektedir (Bkz Şekil 3.39.).



Şekil 3. 40. Türkiye karst bölgeleri haritası (Günay, 1981'den değiştirilerek alınmıştır.)

#### **3.7.4. Az geçirimli birim (Ga)**

Tersiyer yaşlı tortullar genellikle kumtaşı, silttaşı ve kiltası seviyeleri ile başlayıp üstte kiltası, marn, killi kireçtaşı seviyelerine geçmektedir. Birimlerin içerisindeki tüfit ve kireçtaşı bol gözenekli olmasına rağmen marn, silis ve şist arakatkılı seviyeler birimlerin akifer olma özelliğini önemli ölçüde azaltmaktadır. Bu nedenle birimler az geçirimli olarak sınıflandırılmıştır. Marn ve kiltası bölümleri birimin su depolama ve iletme özelliğini kısıtlamaktadır.

Birim Şarkikaraağaç havzasının kuzeyinde, Yenişarbademli havzasının batısında ve havzanın güneyinde küçük alanlarda yüzeylemektedir. Birimin en geniş olarak gözlemlendiği alanlar ise çalışma alanının batısında yer almaktadır (Bkz Şekil 3.39.).

#### **3.7.5. Geçirimsiz birim (Gz1)**

Beyşehir-Hoyran Hadim Napları içerisinde yer alan ofiyoliti, dunit, harsburjit, serpantinit, çört, peridodit ve farklı boyutlardaki olistrostomal kireçtaşı bloklarından oluşmaktadır. Ofiyolitik karmaşık içerisinde bulunan çört, peridodit ve serpantinitin ayrışması sonucu oluşan killerden dolayı birim akifer özelliği taşımazlar.

Birim çalışma alanında Beyşehir Gölü kuzeyinde Şarkikaraağaç havzası içerisinde yer almaktadır. Beyşehir Gölü güneyinde yerel olarak serpantinitin yüzeylendiği alanlar bulunsa da haritalanacak büyüklükte görülmemiştir (Bkz Şekil 3.39.).

#### **3.7.6. Geçirimsiz birim (Gz2)**

Seydişehir Formasyonu veya Sultandede Formasyonu olarak adlandırılan birim çalışma alanının altında yer almakta ve kuvarsit, rekristlize kireçtaşı, arakatkılı metakumtaşı, metaçakıltası, sleyt, fillit ve kalın katmanlı mermer'den oluşmaktadır. Metamorfik masifi oluşturan kayalar esas olarak değişik metamorfizma dereceleri gösteren şistlerdir. Sultandağı Formasyonu düşük yeşilşist fasiyesi üzerine çıkamayan metamorfizmanın etkisinde kalmıştır. Birim içerisinde bulunan rekristalize kireçtaşı ve mermerler düşük miktarda yeraltısuyu bulundurmalarına rağmen, birim metamorfik kökenli olması nedeniyle geçirimsiz olarak kabul edilmiştir.

Birim 6zellikle Beyşehir G6l6 kuzeyinden doğusuna kadar uzanım g6steren geniş bir alanda y6zeylenmektedir. Ayrıca alışma alanı g6neyinde dar bir alanda da haritalanmıştır (Bkz Şekil 3.39.).

#### 4. BEYŞEHİR GÖLÜ HAVZASI YERALTISUYU AKIM MODELİ

Hidrojeolojik sistemlerde yeraltısuyu akım hareketinin üç boyutlu benzeşimini temsil eden matematiksel modeller, doğal ortamlarda oluşan fiziksel ve kimyasal süreçler bilgisayar ortamına aktaran programlardır (Dişli, 2007).

Yeraltısuyu akım modelleri, yeraltısı seviyesinin yere ve zamana göre değişimlerini inceleyebilmemize ve bu değişimleri tahmin edebilmemize yardımcı olmaktadır. Son zamanlarda karşılaşılan hidrojeolojik problemlerinin çözümü için yeraltısuyu akım modellerinden yararlanılmaktadır. Yeraltısuyu akım modeli sonucunun gerçeğe yakın olabilmesi için modelde kullanılan parametrelerin doğru ve detaylı olması gerekmektedir. Oluşturulan model, gerçek hidrojeolojik sistemin tamamen aynıysa değildir, yapılan bazı kabuller ile sistemin temsili olduğu kabul edilmektedir.

Bu çalışmada, Beyşehir Havzasının yeraltısuyu akım modelinde, Groundwater Vistas (GV) platformu altında çalışan MODFLOW – 2000 ( Harbough et al., 2000 ) üç boyutlu yeraltısuyu akım programı kullanılmıştır.

##### 4.1. Yeraltısuyu Akımının Matematiksel Denklemi

Yeraltısuyu modellemesi, fiziksel problemin kavramsal yaklaşımı ile başlar. Bir sonraki adım ise, matematiksel terimler içerisinde fiziksel sistemi çevirmektir. Yeraltısuyu akımının temel yasası Darcy Yasası'dır. Darcy, yeraltısuyu akım miktarını iki kesit arasındaki hidrolik eğimle doğru orantılı olduğunu deneysel olarak tespit etmiş ve bunun sonucunda şu ifadeyi elde etmiştir.

$$q = -K \cdot i, \quad i = \frac{\partial h}{\partial x} \quad (4.1)$$

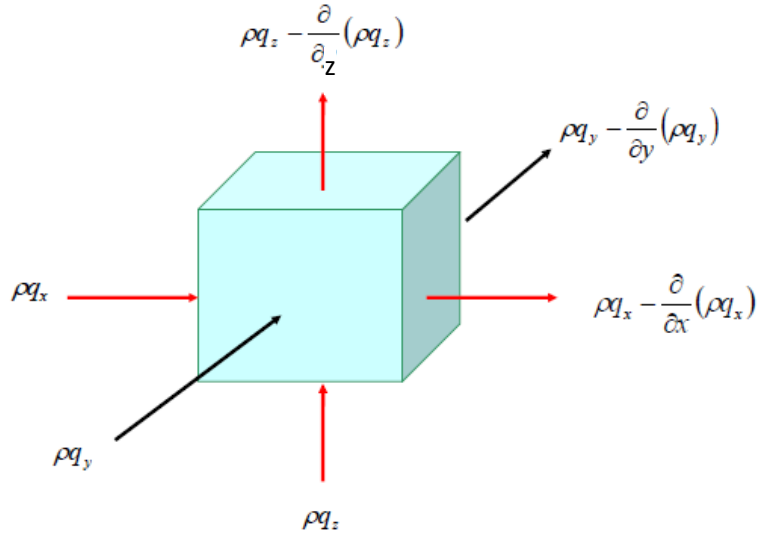
Bu denklemdeki  $q$  darcy akımını [L/T],  $K$  hidrolik iletkenlik katsayısını [L/T],  $i$  ise iki nokta arasındaki hidrolik eğimi [L/L] göstermektedir. Denklem (4.1.) deki (-) işareti akımın yüksek düşüden alçak düşüye doğru olduğunu ifade etmektedir. Gözenekli ortamın birim hacmi için kütle korunumu prensibinin göre, kontrol hacmi içerisine giren akışkan kütlelerinin net miktarı, kontrol hacminden çıkan akışkan



kütlesinin net miktarına eşittir (Şekil 4.1.). Darcy 'ye göre bu yasayı matematiksel denkleme dönüştüren süreklilik denklemi, Denklem 4.2. gibi yazılır.

$$-\frac{\partial}{\partial x} \rho q_x - \frac{\partial}{\partial y} \rho q_y - \frac{\partial}{\partial z} \rho q_z = 0 \quad (4.2.)$$

Bu denklemde;  $\rho$  özkütle [ $M/L^3$ ],  $q_x$ ,  $q_y$  ve  $q_z$  ise x-y ve z yönündeki Darcy akımıdır.



Şekil 4. 1. Gözenekli bir ortamda akış gösteren birim kontrol hacmi (Freeze and Cherry, 1979)

Akışkan sıkışmaz kabul edilirse  $\rho(x, y, z) = \text{sabit}$  olur ve Denklem 4.2.'deki  $\rho$  terimleri iptal edilir. Bunun sonucunda, Darcy eşitliği ile gözenekli ortamdaki akımı meydana getiren akışkan kütlenin korunumunu tanımlayan süreklilik denklemi birlikte kullanıldığında, yeraltısuyu akımının kısmi diferansiyel denklemi olan, denklem 4.3. elde edilir.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) = 0 \quad (4.3.)$$

Denklem 4.3.' e göre:  $K_x$ ,  $K_y$ ,  $K_z$ ; hidrolik iletkenlik katsayısının x, y, z koordinat eksenlerindeki bileşenlerini, h ise hidrolik yükü ifade etmektedir.

## **4.2. MODFLOW 2000**

MODFLOW, U.S. Geological Survey'in modüler üç-boyutlu sonlu farklar yeraltısuyu modeli olup son yıllarda kullanımı giderek artmıştır. MODFLOW, yeraltısuyu akımı kısmi diferansiyel denklemlerini sonlu farklar metoduyla çözen bir programdır. MODFLOW modüler yapıda olup, yeraltısuyu 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. MODFLOW-2000 Harbaugh et al., (2000) tarafından geliştirilmiştir. MODFLOW-2000 sürümünde önceki MODFLOW sürümlerden farklı olarak yeraltısuyu taşınım süreci ve Hill (1992) tarafından geliştirilmiş olan MODFLOWP (Parameter Estimation Version of the Modular Model) evrik parametre tahmin modelini de yer almaktadır. Bu şekilde MODFLOW-2000 ile hem doğrudan hem de evrik akım modellemesi yapılabilmektedir.

## **4.3. Beyşehir Gölü Havzası Yeraltısuyu Akımının MODFLOW ile Modellenmesi**

Bu çalışmada oluşturulacak yeraltısuyu akım modelinde, Groundwater Vistas (GV) platformu altında çalışan MODFLOW-2000 üç boyutlu yeraltısuyu akım programı kullanılmıştır. 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.

Bu projede kullanılan Groundwater Vistas (Versiyon 6) programı orijinal 1988 yılında geliştirilen ve 1996 da yenilenen versiyonlarına ilaveten daha kapsamlı değişikliklere sahip MODFLOW 2000 ve MODFLOW 2005 programlarını da çalıştırabilmektedir. Bunlardan başka MODLOW ile ortaklaşa çalışan MT3D, MODPATH, SEAWAT gibi yeraltı suyu taşınım, yeraltı suyunda partikül takip etmeye ve deniz suyu girişim modellemeye yarayan programları da çalıştırmaktadır.

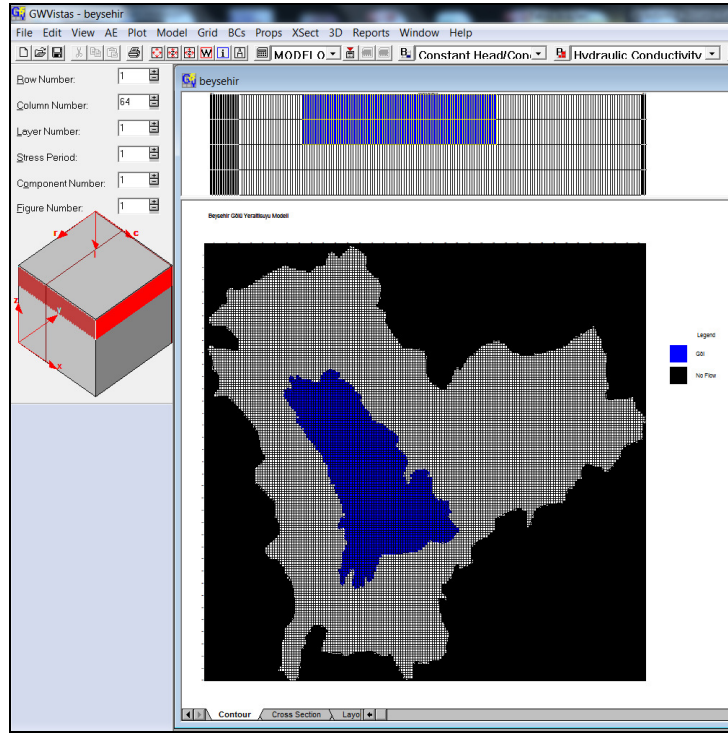
#### **4.4. Sınır Koşulları ve Grid Ağlarının Oluşturulması**

Yeraltısuyu akım modelinde akifer sisteminin sınır koşulları Beyşehir gölü havzasının su ayırım çizgisinin yeraltısuyu 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. Yeraltısuyu akım denklemi, modelde aktif hücre olarak tanımlanan akifer sistemi için kullanılmaktadır, aktif olmayan hücreler (no-flow olarak tanımlanan) yeraltısuyu akım denkleminde yer almamakta her hangi bir matematiksel işleme tabii tutulmamaktadırlar.

GroundwaterVistas programı ve ArcGIS programları yardımı ile Beyşehir gölü havzasının yeraltısuyu akım modelinin oluşturulması sağlanmıştır. ArcGIS'ten elde edilen havza haritası GroundwaterVistas (GV)'a aktarılarak arazi kuzey-güney ve doğu-batı yönlerinin en uç noktaları dikkate alınarak dikdörtgen şeklinde bir çerçeveye sığdırılacak şekilde gridlere (ızgara) bölünmüştür. Model alanı 36. UTM bölgesinde yer almakta olup, 335000D, 4140000K ve 426000D, 4230000K koordinatları arasında yer almaktadır. Modelin güneybatı köşesi orijin kabul edilerek  $x = 0$ ,  $y = 0$  noktası yerine  $x = 335000D$  ve  $y = 4140000K$  UTM başlangıç koordinatları kabul edilerek, veriler girilmiştir. Model, x yönünde 91 km, y yönünde 90 km olmak üzere 8190 km<sup>2</sup>'lik alanı temsil etmektedir. Modeldeki pasif hücreler göz ardı edilerek geriye kalan aktif hücrelerden oluşan model alanı 4137.25 km<sup>2</sup>'dir. Gridlerin boyutu x ve y yönünde 500 m olup alanı 0.25 km<sup>2</sup>. Böylece modelimiz 180

satır ve 182 kolondan oluşan karesel gridlere bölünmüş oldu (Şekil 4.2.). Modelin düşeyde kaç tabakadan oluşacağı ve bu tabakaların derinliklerinin belirlenmesi için hidrojeolojik harita ve kesitlerden yararlanıldı.

Yatay gridleme belirlendikten sonra, bölgenin hidrojeolojik özellikleri göz önünde bulundurularak modelin 4 katmandan oluşmasına karar verildi. Böylece modelimiz düşeyde farklı derinliklere sahip 4 tabakaya bölündü. 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 4.3.).



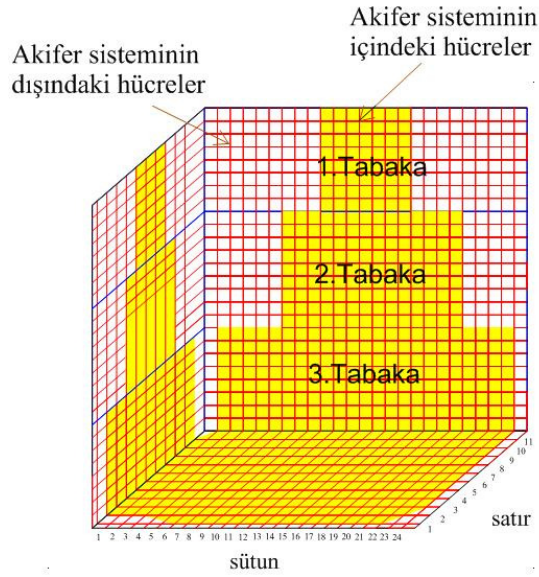
Şekil 4. 2. Modellenen Havzadaki aktif, pasif (no-flow), ve gölü temsil eden sabit yüklü (constant-head) hücrelerin Groundwater Vistas ta görünümü.

Grid		Boundary Conditions		Target Types	
Rows	180	Constant Heads	5190	Head	88
Columns	182	Wells	0	Head Difference	0
Layers	4	Rivers	347	Drawdown	0
Total Cells	131040	Drains	0	Concentration	0
Active Cells	44752	GHBs	481	Flux (node)	0
Total Area	819000000	Streams	0	Flux (reach)	0
Active Area	411850000	Walls	0	Flow Direction	0
Coordinate Transformation		Lakes	0	Subsidence	0
X Offset	335000	Wetlands	0	Prior Information	0
Y Offset	4140000	No Flow	86288	Constraints	0
Rotation	0	FHB	0	Kx Pilot Point	0
Grid Spacings				Kz Pilot Point	0
		Minimum	Maximum	S Pilot Point	0
Rows (Delta-Y)	500	500		Recharge Pilot Pt	0
Columns (Delta-X)	500	500		Analytic Elements	
Original File from GV Version 6: gv610				Wells	593
				Line Boundaries	0
				Circle Boundaries	0
				Polylines	0
				Polygons	0

Şekil 4. 3. Model özet bilgileri

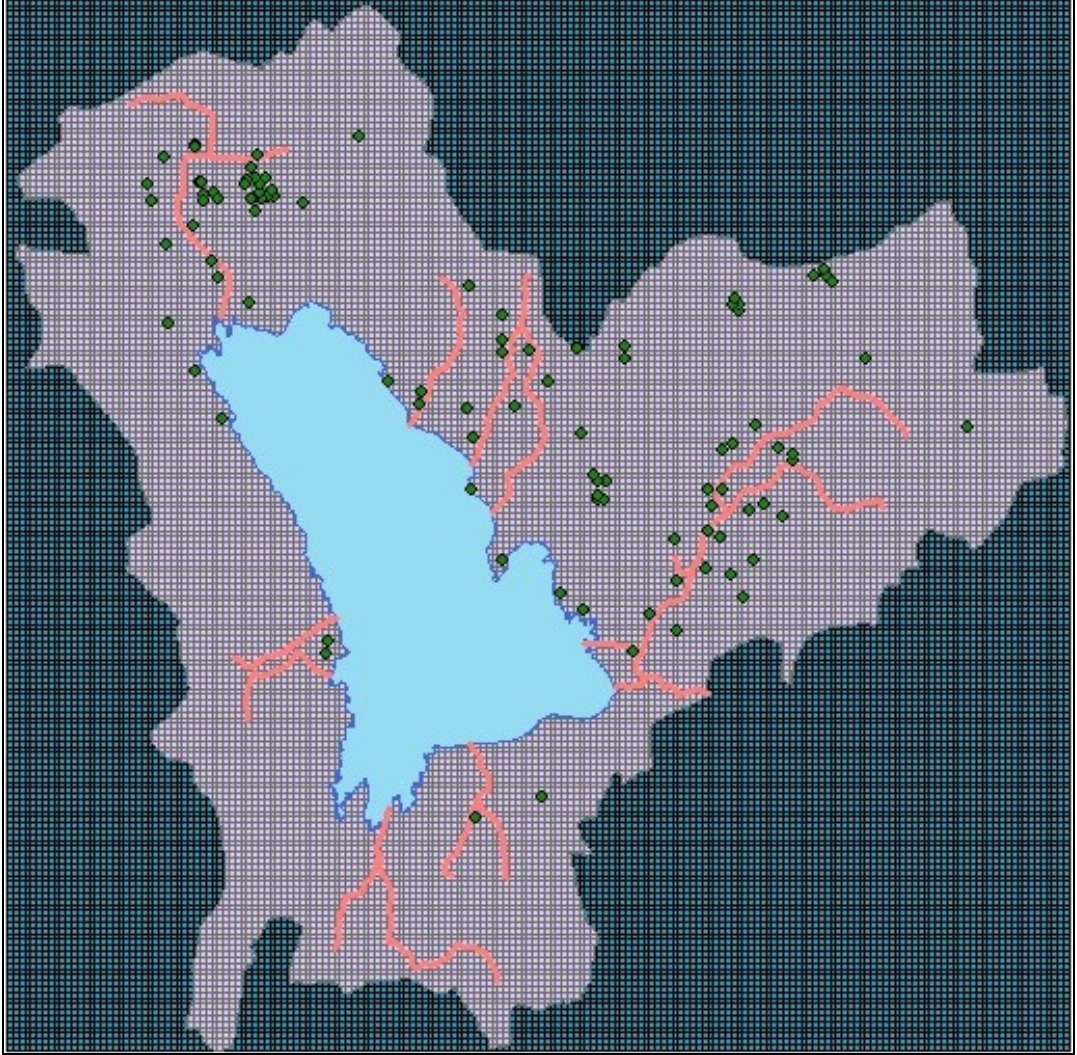
#### 4.5. Tabakaların Oluşturulması ve Özellikleri

Yeraltısuyu akım modelinde akifer sisteminin içindeki hücreler aktif hücreler, akifer sisteminin dışındaki hücreler inaktif hücrelerdir. Üç boyutlu yeraltısuyu akım simülasyonu için grid örneği Şekil 4.4.'de görülmektedir.



Şekil 4. 4. Üç boyutlu yeraltısuyu akım simülasyonu için model grid örneği (USGS, 1997'den değiştirilerek alınmıştır)

Model alanının daha önce hazırlanan hidrojeolojik haritası (Bkz. Şekil 3.20) DSİ Genel Müdürlüğü'nden elde edilen 48 adet araştırma kuyusu logu ve Mutlu kasabası ile Gedikli Köyü'nde içme suyu için açtırılan kuyuların logları incelenerek hidrojeolojik haritanın doğruluğu teyit edilmiştir. DSİ Genel müdürlüğünden alınan kuyu loglarına ait özet bilgi ve kuyuların dağılımı Şekil 4.5. ve Çizelge 4.1.'de verilmiştir. Böylece, bölgenin jeolojik yapısı göz önünde bulundurularak model 4 tabakalı olarak yapılandırılmıştır.



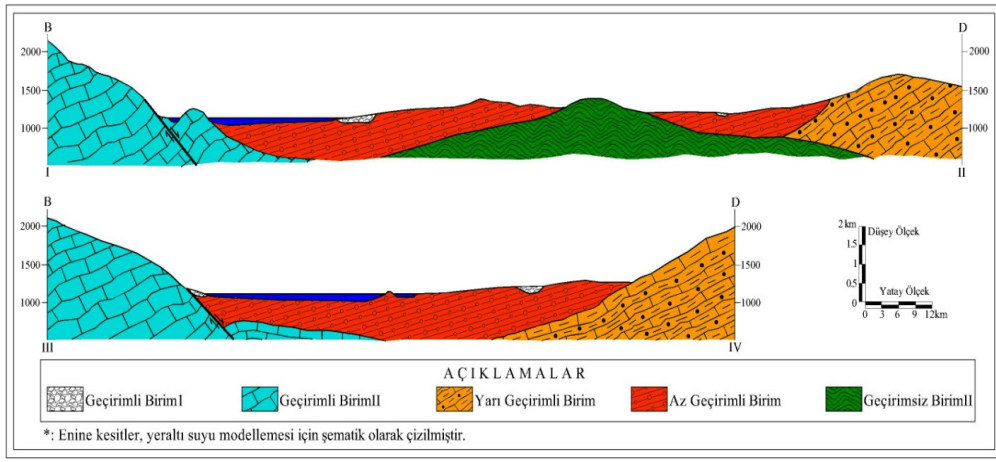
Şekil 4. 5. DSİ Genel Müdürlüğünden temin edilen kuyu loglarının dağılımı

Modeli oluşturmak için kullandığımız doğu-batı yönünde alınmış hidrojeolojik kesit Şekil 4.6.'da verilmiştir.

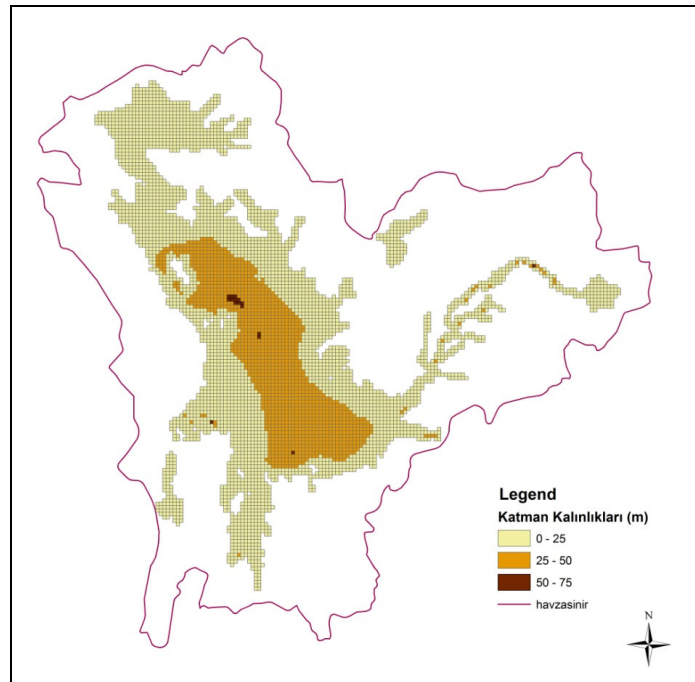
Çizelge 4.1. DSI Genel Müdürlüğünden Temin Edilen Kuyulara Ait Özet Bilgi

No	Kuyu Adı	Koordinasyon		Denklik (m)	Rakım (m)	Statik Yassı (m)	Dinamik Yassı (m)	Yas Kotu (m)	Akifer	Akifer Derinliği (m)	Verim (lt/sn)		Kuyunun Açılış Gavidisi	Kimyasal Analiz	Balke Analiz	Elek. Logu	Pompa Deneyi	Sondajı Yapan Kurum	Başlama Tarihi	Bitiş Tarihi
		Doğu	Kuzey								QA	QP								
1	1143	385657	4171789	170.00	1027.00	2.80	18.55	1024.20				13.60	İçme Suyu	Var	Yok	Yok	DSİ	21.09.1957	18.10.1957	
2	1151	367782	4197079	103.40	1130.00	3.20	15.34	1126.80				9.10	İçme Suyu	Yok	Yok	Yok	DSİ	30.11.1959	13.12.1959	
3	1162	374020	4181854	135.45	1133.00	3.50	20.90	1129.50				4.50	İçme Suyu	Var	Var	Yok	DSİ	21.06.1960	27.06.1960	
4	1165	371251	4198376	193.50	1158.00	0.25	30.00	1157.75				2.40	İçme Suyu	Var	Var	Yok	DSİ	28.06.1960	06.07.1960	
5	1166	392844	4185770	61.80	1197.00	9.50	30.00	1187.50				7.20	İçme Suyu	Var	Var	Yok	DSİ	07.07.1960	11.07.1960	
11	8157	382511	4179831	141.00	1135.00	13.75	59.80	1121.25	1	73.00	100.00	0.70	İçme Suyu	Yok	Yok	Yok	DSİ	05.12.1966	19.12.1966	
12	8391	399332	4191376	94.00	1210.00	0.00	24.65	1210.00	1	0.00	73.00	6.00	Araştırma	Yok	Yok	Yok	DSİ	18.07.1967	05.08.1967	
13	8416B	399269	4193394	150.00	1248.00	2.80			1			3.00	Araştırma	Yok	Yok	Yok	DSİ	03.07.1967	15.07.1967	
14	8416B	399216	4191678	85.00	1205.00	2.40	14.00	1202.60	1	0.00	20.00	8.00	Araştırma	Yok	Yok	Yok	DSİ	06.08.1967	11.08.1967	
15	21552	393252	4190167	187.70	1194.00	0.40	47.11	1193.60	1-2	29.00	165.00	19.03	Araştırma	Var	Yok	Yok	DSİ	14.06.1977	04.07.1977	
17	27381A	393375	4172643	106.00	1174.00	-	-	-	1-2	0.00	0.00	0.00	Araştırma	Yok	Yok	Yok	DSİ	04.09.1980	09.10.1980	
18	33138	373227	4201800	148.00	1122.00	23.50	54.00	1188.50	1-2	24.00	129.00	10.00	Araştırma	Var	Var	Yok	DSİ	16.09.1985	05.10.1985	
19	33586	374041	4201779	153.00	1208.00	2.00	57.00	1206.00	1-2	4.00	126.00	4.00	Araştırma	Var	Yok	Yok	DSİ	08.11.1985	19.12.1985	
20	34946	399000	4185442	155.00	1200.00	26.00	48.00	1174.00	1-2	37.00	122.00	40.00	Araştırma	Var	Yok	Yok	DSİ	27.11.1986	13.12.1986	
21	36518	397227	4180297	110.00	1198.00	9.30	14.86	1188.70	1-2	20.00	101.00	45.00	Araştırma	Var	Yok	Yok	DSİ	11.11.1987	27.11.1987	
22	36792	366807	4187599	57.00	1175.00	11.00	34.00	1164.00	1-2	16.00	49.00	15.00	İçme Suyu	Var	Yok	Yok	DSİ	28.03.1988	02.04.1988	
23	36793A	364982	4187732	20.00	1171.00	-	-	-	1-2	1.00	17.00	54.00	İçme Suyu	Var	Yok	Yok	DSİ	08.04.1988	14.04.1988	
24	36793B	365513	4189237	57.00	1174.00	3.20	17.00	1170.80	1-2	16.00	32.00	15.30	İçme Suyu	Var	Yok	Yok	DSİ	27.04.1988	04.05.1988	
25	36794	365945	4187336	51.00	1169.00	13.00	25.60	1156.00	1-2	20.00	34.00	15.30	İçme Suyu	Var	Yok	Yok	DSİ	02.04.1988	08.04.1988	
26	36795A	362898	4183131	129.00	1165.00	10.40	33.50	1154.60	1-2	20.00	57.00	4.00	İçme Suyu	Var	Yok	Yok	DSİ	27.11.1987	08.12.1987	
27	36795B	365618	4187356	51.00	1173.00	6.00	22.00	1167.00	1-2	12.00	32.00	15.00	İçme Suyu	Var	Yok	Yok	DSİ	04.05.1988	30.05.1988	
28	36796	368656	4187634	59.00	1178.00	11.50	31.00	1166.50	1-2	17.00	41.00	30.00	İçme Suyu	Var	Yok	Yok	DSİ	08.12.1987	26.12.1987	
29	36797	368854	4189090	39.00	1175.00	3.50	20.00	1171.50	1-2	20.00	36.00	43.00	İçme Suyu	Var	Yok	Yok	DSİ	14.04.1988	27.04.1988	
30	39421	390879	4180648	129.00	1195.00	30.00	60.00	1165.00	1-2	28.00	117.00	2.00	Araştırma	Var	Yok	Yok	DSİ	08.03.1990	19.03.1990	
31	42990	403314	4194919	146.00	1237.00	0.00	62.00	1237.00	1-2	16.00	138.00	16.00	Araştırma	Var	Yok	Yok	DSİ	10.03.1992	26.03.1992	
32	42731	399994	4184930	150.00	1215.00	32.00	53.00	1189.00	1-2	32.00	122.00	42.00	İçme Suyu	Var	Yok	Yok	DSİ	24.12.1991	31.12.1991	
33	42732	399506	4185506	150.00	1230.00	33.00	72.00	1197.00	1-2	32.00	130.00	27.00	İçme Suyu	Var	Yok	Yok	DSİ	05.12.1991	23.12.1991	
34	42734A	401729	4184581	150.00	1241.00	7.00	74.00	1234.00	1-2	31.00	134.00	7.00	İçme Suyu	Var	Yok	Yok	DSİ	23.11.1991	04.12.1991	
35	42734B	401915	4184330	150.00	1248.00	5.00	69.00	1243.00	1-2	24.00	134.00	28.00	İçme Suyu	Var	Yok	Yok	DSİ	17.11.1991	08.03.1992	
36	42734C	401915	4184330	150.00	1248.00	5.00	69.00	1243.00	1-2	24.00	134.00	28.00	İçme Suyu	Var	Yok	Yok	DSİ	17.11.1991	08.03.1992	
37	43760	397696	4202395	161.00	1290.00	8.00	60.00	1282.00	1-2	32.00	138.00	20.00	Araştırma	Var	Yok	Yok	DSİ	27.05.1992	21.06.1992	
38	46786	399556	4179174	140.00	1220.00	28.00	56.00	1192.00	1-2	32.00	125.00	43.00	İçme Suyu	Var	Yok	Yok	DSİ	14.07.1972	13.05.1994	
39	46787	394985	4180196	133.00	1199.00	18.00	41.00	1175.00	1-2	28.00	125.00	43.00	İçme Suyu	Var	Yok	Yok	DSİ	05.04.1994	18.10.1995	
40	46787	399485	4189281	145.00	1189.00	6.00	70.00	1183.00	1-2	28.00	133.00	3.00	Araştırma	Var	Yok	Yok	DSİ	24.05.1995	31.05.1995	
41	47769	399239	4190621	120.00	1209.00	5.00	37.00	1204.00	1-2	12.00	106.00	6.00	İçme Suyu	Var	Yok	Yok	DSİ	01.06.1995	09.06.1995	
42	49111	374220	4205650	108.00	1304.00	27.00		1277.00	1-2				Araştırma	Var	Yok	Yok	DSİ	16.11.1994	07.12.1994	
43	49130	374424	4184367	173.00	1400.00			1400.00	1-2	72.00	133.00		Araştırma	Yok	Yok	Yok	DSİ	18.04.1994	08.05.1995	
44	51289	397331	4203210	125.00	1291.00	9.00	54.00	1282.00	1-2	24.00	110.00	28.00	İçme Suyu	Var	Yok	Yok	DSİ	23.03.1997	11.04.1997	
45	51291	396069	4202725	128.00	1310.00	0.00	78.00	1310.00	1-2	24.00	120.00	10.00	İçme Suyu	Var	Yok	Yok	DSİ	25.05.1997	06.06.1997	
46	4759	362197	4176449	142.00	1133.00	3.00	40.90	1130.00	2	55.00	142.00	10.00	İçme Suyu	Var	Yok	Yok	erBanka	28.03.2001	22.05.2001	
47	199	384920	4193831	100.00	1181.00	11.00	33.38	1170.00	2	6.00	62.00	1.00	İçme Suyu	Var	Yok	Yok	erBanka	03.07.1989	06.07.1989	
48	4326	384133	4192575	62.00	1166.00	4.70	20.70	1161.30	2	2.00	62.00	30.00	İçme Suyu	Var	Yok	Yok	erBanka	24.11.1999	30.11.1999	
49	3571A	371478	4198772	52.00	1163.00	3.25	4.00	1159.75	1	20.00	43.00	1.00	İçme Suyu	Yok	Var	Yok	erBanka	16.11.1996	18.11.1996	
50	3571B	371478	4198772	52.00	1163.00	3.25	28.00	1159.75	1	19.00	43.00	8.00	İçme Suyu	Var	Yok	Yok	erBanka	16.11.1996	18.11.1996	
51	4431	361874	4176979	40.00	1135.00	4.00	19.30	1131.00	1	0.00	35.00	3.00	İçme Suyu	Var	Yok	Yok	erBanka	26.05.2000	04.06.2000	
52	2353	378740	4200931	86.00	1226.00	8.45	17.40	1217.35	1	0.00	12.00	2.00	İçme Suyu	Var	Yok	Yok	erBanka	01.12.1993	10.12.1993	
53	2818	377118	4202680	80.00	1262.00	10.35	16.70	1251.65	2	13.00	80.00	3.00	İçme Suyu	Var	Yok	Yok	erBanka	10.03.1995	16.04.1995	
54	2817	377286	4201462	23.00	1285.00	4.30	7.05	1280.70	2	10.00	23.00	6.00	İçme Suyu	Var	Yok	Yok	erBanka	16.02.1995	19.02.1995	

1.Tabaka: Beyşehir havzasını oluşturan en üst tabaka olup, tabakanın kalınlığı havzanın orta kısımlarında 70 m.'yi geçmektedir (Şekil 4.7.). Bu tabakanın tamamı alüvyonu temsil eden geçirimli bir birimden oluşmaktadır. 1.tabakada Beyşehir Gölü sabit seviyeli hidrolik yük (constant head) olarak tanımlanmıştır. Ayrıca Şarkikaraağaç, İlmen, Yenice, Koca Çay, Sarısu, Çarşamba Çayı, Büyük Köprü Çay, Huğlu, Pınar Gözü dereleri (river), şahıs ve işletme kuyular (well), rasat kuyuları (target) olarak modele tanımlanmıştır. Modelde 1. Tabakanın kapladığı alan ve Modflow ile oluşturulan model'deki durumu Şekil 4.8'de görülmektedir.

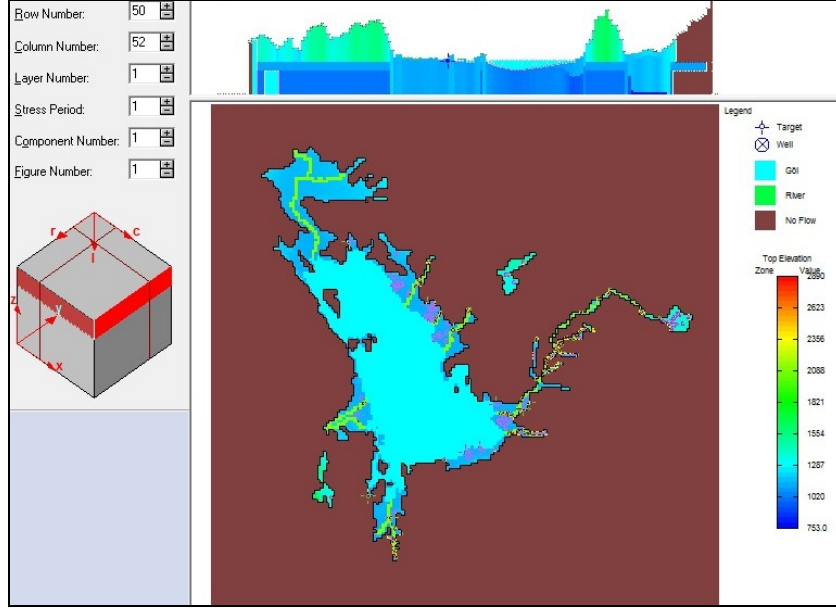


Şekil 4. 6. Havzanın Doğu-Batı yönünde çizilmiş hidrojeolojik kesit



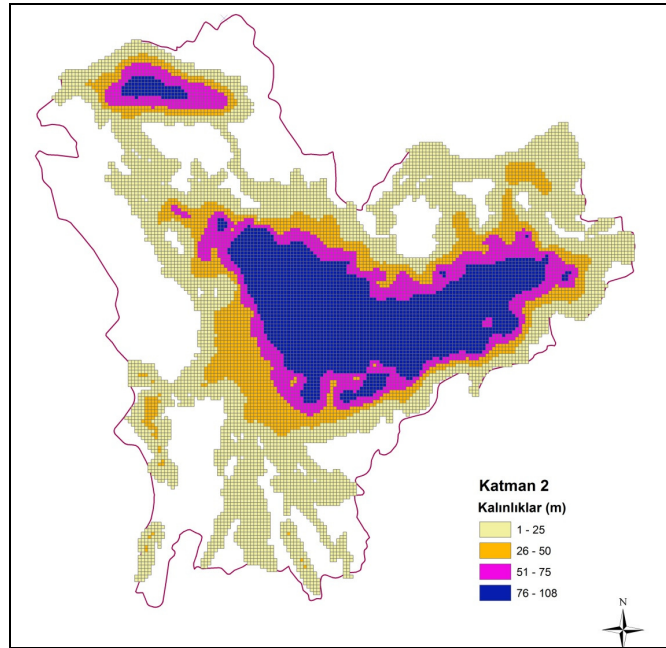
Şekil 4. 7. 1. tabakanın kalınlık haritası



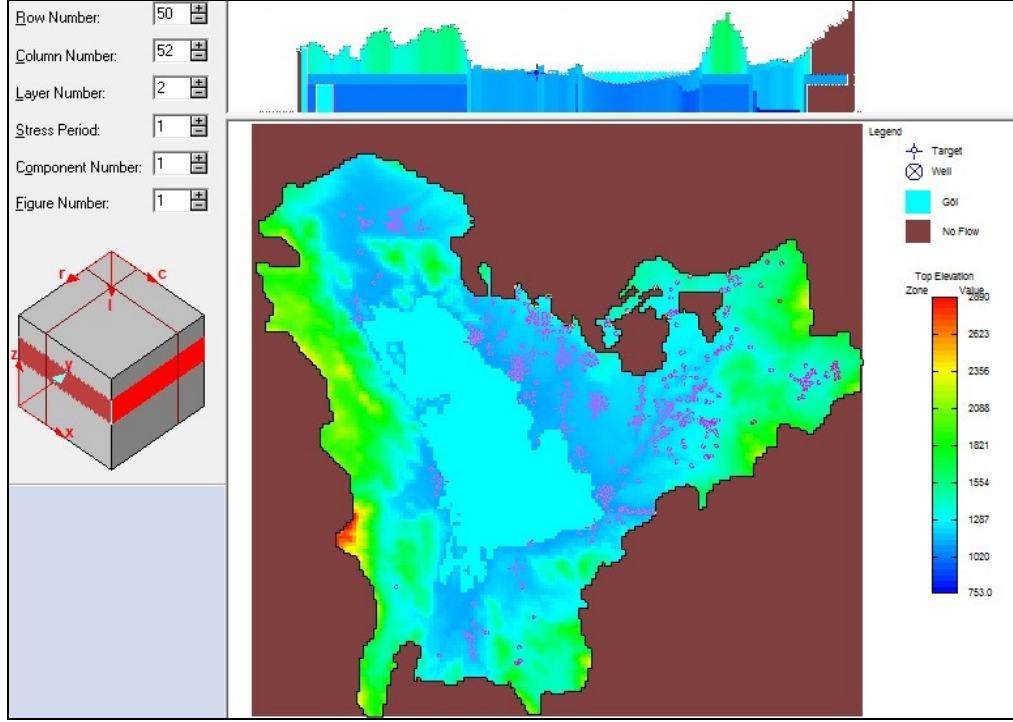


Şekil 4. 8. Model alanındaki 1. Tabakayı gösteren harita

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 (Şekil 4.9). Modelde oluşturulan 2.tabaka Şekil 4.10.'da görülmektedir.

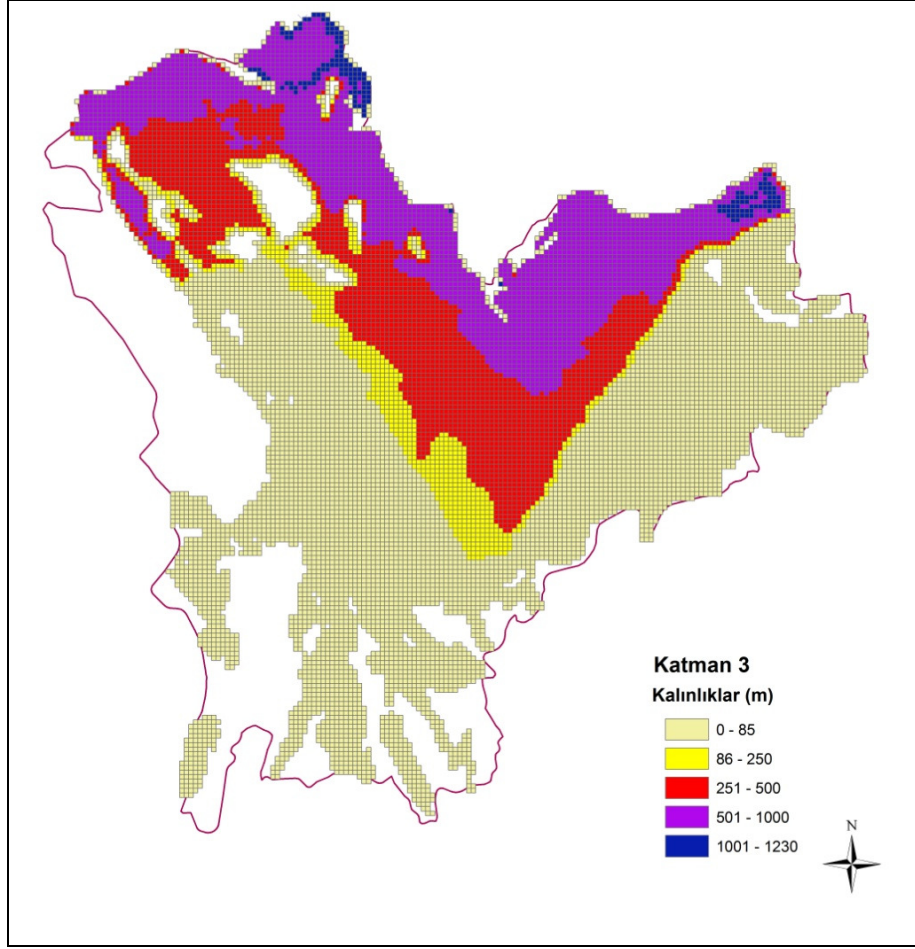


Şekil 4. 9. 2. tabakanın kalınlık haritası

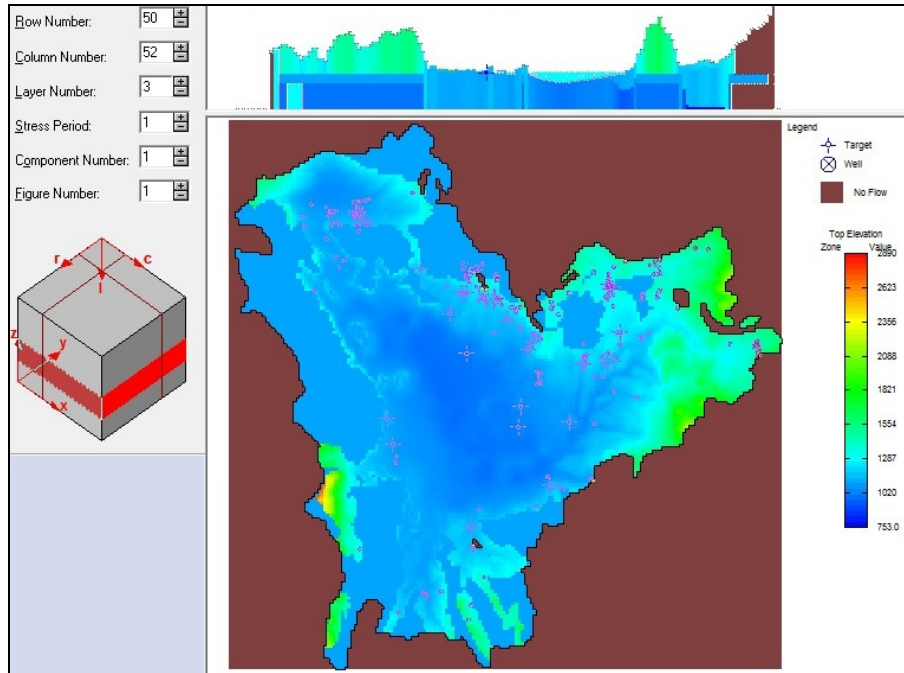


Şekil 4. 10. Model alanındaki 2. tabakayı gösteren harita

3.Tabaka: 2.tabakanın hemen altında gölün doğu kısımlarında yüzeyleyen 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 (Şekil 4.11.). Modelde oluşturulan 3.tabaka Şekil 4.12.'de gösterilmiştir.

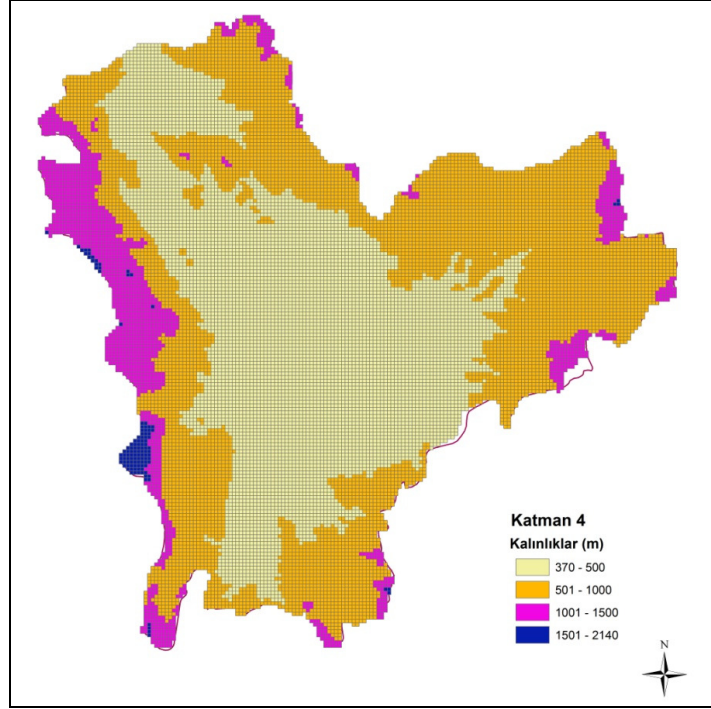


Şekil 4. 11. 3 nolu tabakanın kalınlık haritası

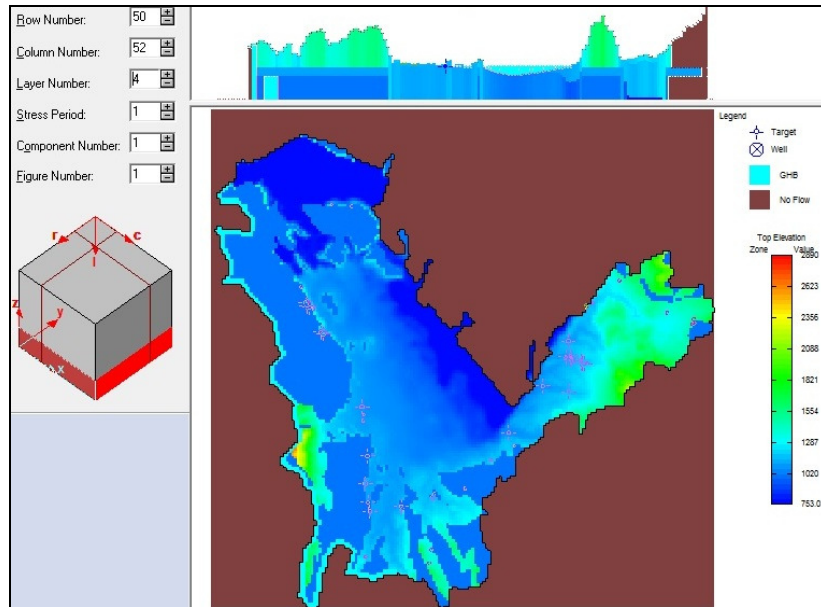


Şekil 4. 12. Model alanındaki 3. tabakayı gösteren harita

4.Tabaka: Beyşehir havzasının batı tarafında kireçtaşından oluşan bir tabakadır. Bu durumda kireç taşından oluşan formasyon 4 nolu tabakayı oluşturmaktadır olup en altta uzanmakta ve havzanın batı kısımlarında yüzeye çıkmaktadır. Çalışma alanında bu tabaka kalınlığı 2140 m.'yi bulabilmektedir (Şekil 4.13.). Modelde oluşturulan 4.tabaka Şekil 4.14.'de görülmektedir.



Şekil 4. 13. 4 nolu tabakanın kalınlık haritası



Şekil 4. 14. Model alanındaki 4. tabakayı gösteren harita

#### 4.6. Akiferin Hidrojeolojik Parametreleri

Modellemede kullanılan dört tabakaya ait yatay ve düşey hidrolik iletkenlik değerleri belirlenirken önemli güçlükler ile karşılaşmıştır. MODFLOW'da yeraltısuyu denklemini yalnız doymuş ortam içinde geçerlidir ve doymamış ortam model tarafından inaktif hücreler ile temsil edilir. Serbest akifer koşullarında başlangıç hidrolik seviye olarak, ilgili hücreye ait topoğrafik kot değerleri verilmiştir. Kararlı akımda başlangıç hidrolik seviyeleri sadece iterasyon sayısının çokluğu veya azlığını etkilemektedir.

Hidrojeoloji bölümünde sondaj kuyularına ait pompaj verileri değerlendirilerek akiferlerin hidrojeolojik parametreleri belirlenmişti. Fakat bu sondajların modellemede kullanılan 4 tabakadan ikisini hatta bazen üçünü kesmesinden dolayı elde edilen parametrelerin sadece tek bir tabakayı temsil etmesinin mümkün olmadığı görülmüştür. Bundan dolayı pompaj deney sonuçlarına göre bulunan parametreler, kesilen tabaka kalınlıkları, arazi gözlemleri ve literatür bilgileri (Jumikis, 1983; Freeze ve Cherry, 1979) ile karşılaştırılarak her bir tabaka için başlangıçta kullanılacak temsili yatay ve düşey hidrolik iletkenlik değerleri belirlenmiştir. Kalibrasyon öncesi başlangıçta kullanılan tabakalara ait hidrojeolojik parametreler Çizelge 4.1.'de verilmiştir. Birden fazla tabakayı içerdiği için yeraltısuyu akım modellemesinde, iki tabaka arasındaki düşey sızma ( $V_{cont}$ ) değerinin bilinmesi gerekmektedir. MODFLOW, yeraltısuyu akımının yatay olduğunu kabul etmektedir. Düşey hidrolik iletkenlik değeri, modelde kullanıcı tarafından girilebildiği gibi Modflow tarafından Denklem 4.4.'deki gibi hesaplanabilmektedir. Bu çalışmada düşey hidrolik iletkenlik değeri kullanılarak düşey sızma miktarı program tarafından hesaplanmıştır.

$$V_{cont_{j,i,k+1/2}} = \frac{1}{\frac{\Delta V_{k/2}}{[Kz]_{j,i,k}} + \frac{\Delta V_{k+1/2}}{[Kz]_{j,i,k+1}}} \quad (4.4.)$$

Burada;  $V_{cont}$  [1/T], iki tabaka arasındaki düşey sızma miktarını,  $\Delta V_k$ , üstteki tabakanın kalınlığını [L],  $\Delta V_{k+1}$ , alttaki tabakanın kalınlığını [L],  $[Kz]_{j,i,k}$  üstteki

tabakanın düşey hidrolik iletkenliğini  $[L/T]$ ,  $[Kz]_{j,i,k+1}$  ise alttaki tabakanın düşey hidrolik iletkenliğini  $[L/T]$ , vermektedir.

#### **4.7. Model parametreleri**

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 beslenimin 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, Hizar 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.

##### **4.7.1. Yağıştan beslenim**

Alanı 4117 km<sup>2</sup>'lik Beyşehir Havzası'nın en önemli beslenme kaynağını yağış oluşturmaktadır. Çalışma alanında DMİ Genel Müdürlüğü tarafından 2011 yılı mayıs ayında ölçülen yağış miktarı 41.6 mm olarak ölçülmüştür (Çizelge 4.2.). Yeraltısuyu beslenimini; çalışma alanında yer alan birimler üzerine düşen yağıştan beslenim ve yüzeysel akıştan süzülme ile beslenim oluşturmaktadır.

GÇ1 geçirimli birimden beslenim: Alüvyon ve yamaç molozundan meydana gelen geçirimli birim (GÇ1), en büyük yüzey alanını kuzeyde Şarkikaraağaç havzasında vermekte güneye doğru uzanarak Beyşehir Gölü kıyılarına kadar uzanmaktadır. Alüvyon, Beyşehir Gölü doğusunda kıyı şeridi boyunca güneye doğru uzanım göstermektedir. Geçirimli Birim (Gç1), Beyşehir yerleşim alanı civarında ise değişen topoğrafya ile dere yataklarını takip eden dar bir koridor şeklinde havzanın

Çizelge 4.2. Beyşehir 2011 Yılı aylık yağış değerleri (mm)

METEOROLOJİ		T.C. ORMAN ve SU İŞLERİ BAKANLIĞI METEOROLOJİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ											
Günlük Toplam Yağış (mm)													Boşluk:Yağış Ölçümü Yapılmamıştır.
ISTASYON ADI/NO: BEYSEHIR MET.IS / 17242													
YIL: 2011													
GÜN/AY	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	
1	0				0.6								
2		0	0	1.2	0.5								
3	0.1	0	0	11							0.7		
4	0.5			1.7				1			1.9		
5	0.2	8.2		5	1								
6	2.4	0			1.6								
7	4.1	0	24.8	3.5	1.8								
8	0.3	0	4.2	0.2								18.6	
9	0		11									0.8	
10	0	0	2.9	1.1		0.4				48.2			
11		0	0.2	1.8	0.8	2.4				9.3			
12	0	0		0.4	2					14.5			
13	0	0			5.9					4.3			
14	0	0			1.8	2							
15	0			0.3	2						1.9		
16	0	0.5									1.1		
17	0				0.6					3		8.7	
18	0		1			4.9				16	0.4	0.3	
19	0		1.7		4.6	0.4				0.2			
20		23.6			1.2								
21	0			7.3						0			
22	0.9		5.3	0									
23	0	18.3							1.7			16.4	
24	3	1.2		10.5					0.5			36.8	
25	3.6	2.9										1.2	
26	21	7.9											
27	0				4.1	0							
28	0	2.6	0.2	0	1.3								
29	1.7				5.2								
30	11.8			0.4									
31	0.3				6.6								
<b>Toplam</b>	<b>49.9</b>	<b>65.2</b>	<b>51.3</b>	<b>44.4</b>	<b>41.6</b>	<b>10.1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2.2</b>	<b>95.5</b>	<b>6</b>	<b>82.8</b>	

kuzeydoğusuna doğru iç kesimlere kadar ve göl kenar çizgisini takiben güneye doğru dar bir şerit şeklinde yayılmaktadır. Bu birim havzada 510 km<sup>2</sup>'lik alanı kaplamaktadır ve yağıştan süzülme oranı %25 olarak kabul edilmiştir.

Çalışma alanında Mayıs 2011 yılında aylık toplam 41.6 mm yağış ölçülmüş ve buna bağlı olarak alüvyon ve yamaç molozlarından beslenme miktarı;  $0.0416 \cdot 0.25 / 31 = 3.355 \cdot 10^{-4}$  m/gün olarak hesaplanmıştır.

GÇ2 geçirimli birimden beslenme: Çalışma alanında yüzeylenen kireçtaşları kırıklı-çatlaklı ve erime boşluklu yapılarından dolayı geçirimli birim (GÇ2) olarak sınıflandırılmıştır. Birim içerisinde Anamas Dağları Grubuna ait Mesozoyik yaşlı

Kireçtaşı, Sultan Dağları Grubuna ait Karbonifer ve Permiyen yaşlı Kireçtaşı ile her iki grubunda temelini oluşturan dolomit, dolomitik kireçtaşı ve yumrulu kireçtaşı içeren Çaltepe Formasyonu tanımlanmıştır. Bu birim içinde bulunan litolojilerin ortak özelliği, sahip oldukları kırık, çatlak ve erime boşluklarından dolayı karstik akifer özelliği taşımalarıdır. Kireçtaşı çalışma alanının batı kenarlarında yüksek topoğrafya boyunca yüzeilenmektedir. Bu birim havzada 1081 km<sup>2</sup>'lik alanı kaplamaktadır ve yağıştan süzülme oranı %15 olarak kabul edilmiştir.

Çalışma alanında Mayıs 2011 yılında aylık toplam 41.6 mm yağış ölçülmüş ve buna bağlı olarak beslenme miktarı;  $0.0416 \cdot 0.15 / 31 = 2.013 \cdot 10^{-4}$  m/gün olarak hesaplanmıştır.

Yarı geçirimli birimden beslenme (Gy): Genellikle Tersiyer yaşlı olan birimler her üç Anamas Dağları Grubu, Sultan Dağları Grubu ve Beyşehir-Hoyran Hadim Napları içerisinde de yer almaktadır. Bu birimi oluşturan Tersiyer yaşlı tortullar genellikle karbonat çimentolu, çakıltası, kumtaşı ve konglomera gibi geçirgen litolojilerin ardalanmasından oluşmaktadırlar. Fakat zaman zaman çamurtaşı ve kiltası ardalanmaları olması sebebiyle geçirgenlikleri düşmekte ve tam bir akifer özelliği göstermemektedirler. Birim Şarkikaraağaç'ın doğusunda, Yenişarbademli'nin batısında ve Yeşildağ'ın güneyinde küçük alanlarda yüzeilenmektedir. Birimin çalışma alanında yüzeildiği en geniş alan, Beyşehir'den kuzeydoğuya doğru Derbent'e kadar uzanan dar bir koridorda ve Derbent civarında görülmektedir. Bu birim havzada 526.3 km<sup>2</sup>'lik alanı kaplamaktadır ve yağıştan süzülme oranı %10 olarak kabul edilmiştir.

Çalışma alanında Mayıs 2011 yılında aylık toplam 41.6 mm yağış ölçülmüş ve buna bağlı olarak beslenme miktarı;  $0.0416 \cdot 0.10 / 31 = 1.342 \cdot 10^{-4}$  m/gün olarak hesaplanmıştır.

Az geçirimli birimden beslenme (Ga): Tersiyer yaşlı tortullar genellikle kumtaşı, silttaşı ve kiltası seviyeleri ile başlayıp üstte kiltası, marn, killi kireçtaşı seviyelerine geçmektedir. Birim Şarkikaraağaç havzasının kuzeyinde, Yenişarbademli havzasının batısında ve havzanın güneyinde küçük alanlarda yüzeilenmektedir. Birimin en geniş olarak gözlemlendiği alanlar ise çalışma alanının batısında yer almaktadır. Bu



birim havzada 902.86 km<sup>2</sup>'lik alanı kaplamaktadır ve yağıştan süzülme oranı %10 olarak kabul edilmiştir.

Çalışma alanında Mayıs 2011 yılında aylık toplam 41.6 mm yağış ölçülmüş ve buna bağlı olarak beslenme miktarı;  $0.0416 \cdot 0.10 / 31 = 1.342 \cdot 10^{-4}$  m/gün olarak hesaplanmıştır.

Geçirimsiz (Gz1) birimden beslenme: Beyşehir-Hoyran Hadim Napları içerisinde yer alan ofiyoliti, dunit, harsburjit, serpantin, çört, peridotit ve farklı boyutlardaki olistrostromal kireçtaşı bloklarından oluşmaktadır. Ofiyolitik karmaşık içerisinde bulunan çört, peridotit ve serpantin ayrışması sonucu oluşan killerden dolayı birim akifer özelliği taşımazlar. Birim çalışma alanında Beyşehir Gölü kuzeyinde Şarkikaraağaç havzası içerisinde yer almaktadır. Bu birim havzada 81.3 km<sup>2</sup>'lik alanı kaplamaktadır ve yağıştan süzülme oranı %1 olarak kabul edilmiştir.

Çalışma alanında Mayıs 2011 yılında aylık toplam 41.6 mm yağış ölçülmüş ve buna bağlı olarak beslenme miktarı;  $0.0416 \cdot 0.01 / 31 = 1.342 \cdot 10^{-5}$  m/gün olarak hesaplanmıştır

Geçirimsiz (Gz2) birimden beslenme: Seydişehir Formasyonu veya Sultandağı Formasyonu olarak adlandırılan birim çalışma alanının altında yer almakta ve kuvarsit, rekristalize kireçtaşı, arakatkılı metakumtaşı, metaçakıltası, sleyt, fillit ve kalın katmanlı mermer'den oluşmaktadır. Birim içerisinde bulunan rekristalize kireçtaşı ve mermerler düşük miktarda yeraltı suyu bulundurmalarına rağmen, birim metamorfik kökenli olması nedeniyle geçirimsiz olarak kabul edilmiştir. Birim özellikle Beyşehir Gölü kuzeyinden doğusuna kadar uzanım gösteren geniş bir alanda yüzeylenmektedir. Bu birim havzada 349.42 km<sup>2</sup>'lik alanı kaplamaktadır ve yağıştan süzülme oranı %1 olarak kabul edilmiştir.

Çalışma alanında Mayıs 2011 yılında aylık toplam 41.6 mm yağış ölçülmüş ve buna bağlı olarak beslenme miktarı;  $0.0416 \cdot 0.01 / 31 = 1.342 \cdot 10^{-5}$  m/gün olarak hesaplanmıştır.

#### 4.7.2. Buharlaşma

Çalışma alanında 17242 nolu Beyşehir Meteoroloji İstasyonu tarafından ölçülen Mayıs 2011 günlük toplam açık yüzey buharlaşma değeri 108 mm olarak ölçülmüştür (Çizelge 4.3.). MODFLOW programında yağış ve buharlaşma değerleri 1.tabakaya tanımlanmaktadır. Beyşehir Meteoroloji İstasyonu tarafından okunan değerlerin %70'i gerçek buharlaşma miktarını vermektedir. Buna göre;  $108 * 0.70 / 31 / 1000 = 2.439 * 10^{-3}$  m/gün olarak hesaplanan buharlaşma miktarı modelde 1.tabakada tanımlanmıştır.

Çizelge 4.3. Beyşehir 2011 Yılı Aylık Buharlaşma Değerleri (mm)

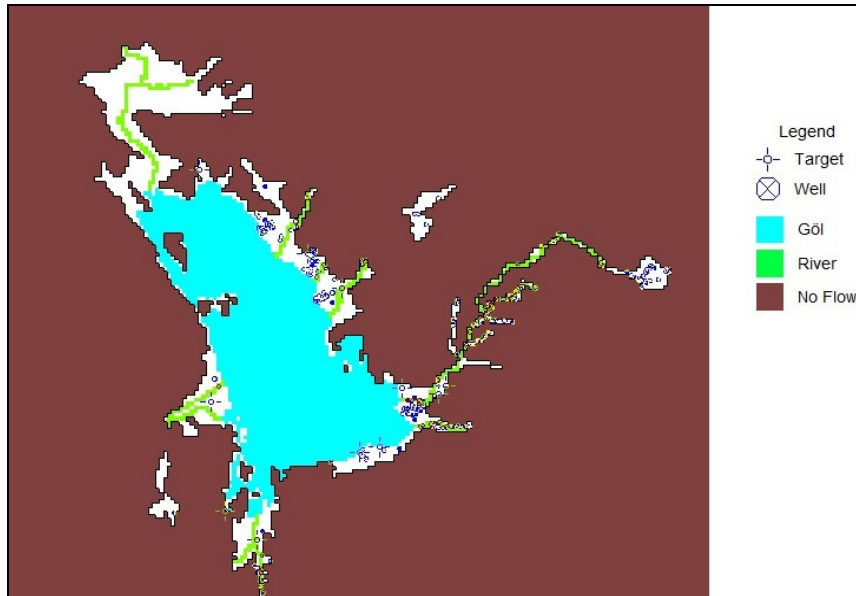
T.C. ORMAN ve SU İŞLERİ BAKANLIĞI METEOROLOJİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ												
Günlük Toplam Açık Yüzey Buharlaşması (mm)												
İSTASYON ADI/NO: BEYSEHIR MET.IS / 17242												
YIL: 2011												
GÜN/AY	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
1					1.3	4.8	6.4	8.8	8.2	2.7		
2					3.7	4.8	6.4	8.6	7.1	4.5		
3					4.6	6.4	8.4	9.6	8.4	4.8		
4					5.3	5	7.2	6.6	7.3	4		
5					5	4.2	7.8	6.7	8.1	5.3		
6					3.7	4.8	8.8	8.8	7	4.3		
7					2.6	6.1	8.6	8	7.2	4.2		
8					1.2	5.6	8.2	8.8	6.8	5		
9					4.2	7.2	8.4	8.2	6.8	3.6		
10					4.8	6.4	9	8.9	6.1	2		
11					4	8	9.6	9.2	6.8	0.3		
12					5.2	5.3	9.9	9.2	7.2	3		
13					2.3	5.4	9.5	4.8	7.8	0.3		
14					1.3	5.4	7.2	5.6	6.4	3.1		
15					1.4	4	8.2	7.2	8.4	2		
16					2.4	4.3	10	7.2	7.3	3.6		
17				2.2	3.4	6.1	6.4	7.7	6	1.6		
18				2.4	5.6	4.1	8.8	8	7.2	0.2		
19				4.5	0.8	5.2	8.4	7.8	6.2			
20				5.1	5	6.4	8.6	7.2	5.2			
21				0.9	3.7	6	7.8	6.8	6.8			
22				0.7	3.5	8.5	8.3	8.4	6.4			
23				3.8	4.5	5.6	7.6	6.8	3.6			
24				3.3	2.9	8.2	8.6	8	2.5			
25				1.8	4.2	6.4	7.5	7.2	5			
26				3.2	5.4	9.3	8.4	8	5.4			
27				3.8	4.1	8	8	7.8	5			
28				3.3	4.8	3.2	8.4	7.5	4			
29				1.8	2.8	5	9.6	7.8	4.8			
30				3.4	2.5	5.4	8.8	6.7	5.4			
31					1.8		8.8	3.5				
<b>Toplam</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>40.2</b>	<b>108</b>	<b>175.1</b>	<b>257.6</b>	<b>235.4</b>	<b>190.4</b>	<b>54.5</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

### 4.7.3. Pompaj ve gözlem kuyuları

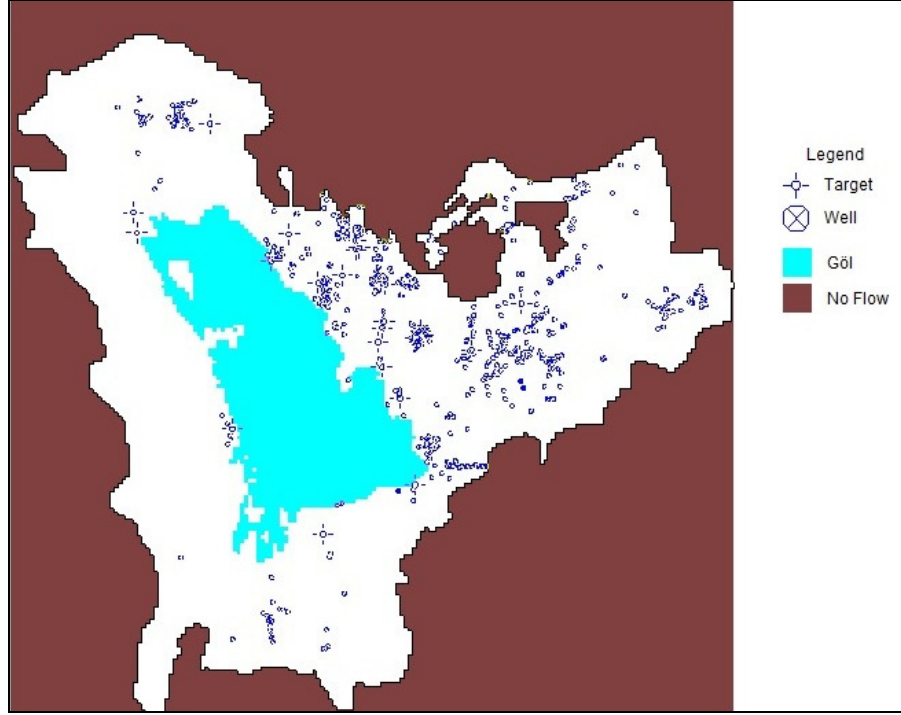
Çalışma alanında 2011 yılı için sulama birlikleri tarafından işletmede olan, şahıslar tarafından açılmış olan toplam 593 adet kuyunun verileri Isparta ve Konya Bölge Müdürlüklerinden alınarak modele aktarılmıştır. MODFLOW’da kuyudan su çekimi negatif, kuyuya su basma (enjeksiyon) olayı pozitif değerler ile ifade edilir.

MODFLOW programı ile model tabakasında birden fazla tabakayı kesen kuyuların benzetimi yapılabilmektedir. Birden fazla tabakayı kesen kuyular için pompaj ve enjeksiyon oranı toplamı, her bir tabakadan yapılan pompaj sonuçlarının toplamına eşittir (McDonald and Harbaugh, 1988).

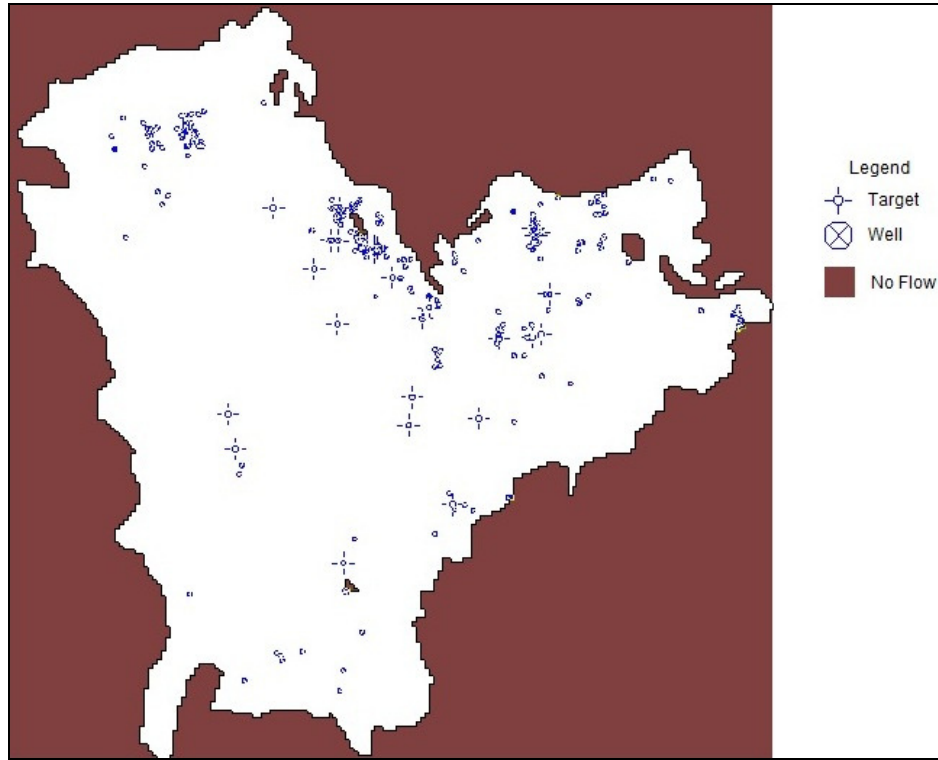
Yeraltısu akım modelini, Mayıs 2011 yılı için oluşturduğumuzdan, rasat kuyuları için modele girdiğimiz veriler bu yılı temsil etmektedir. Çalışma alanında bulunan rasat kuyularının 2011 yılı verileri Isparta ve Konya Bölge Müdürlüklerinden temin edilmiştir. Modelde, yeraltı suyu seviyeleri kullanılarak hesaplanan hidrolik seviyeler, rasat kuyularında gözlenen değerlere en yakın hale gelene kadar model kalibrasyonu yapılmıştır. Her tabaka için rasat kuyularının konumları Şekil 4.15.-4.18.’de görülmektedir.



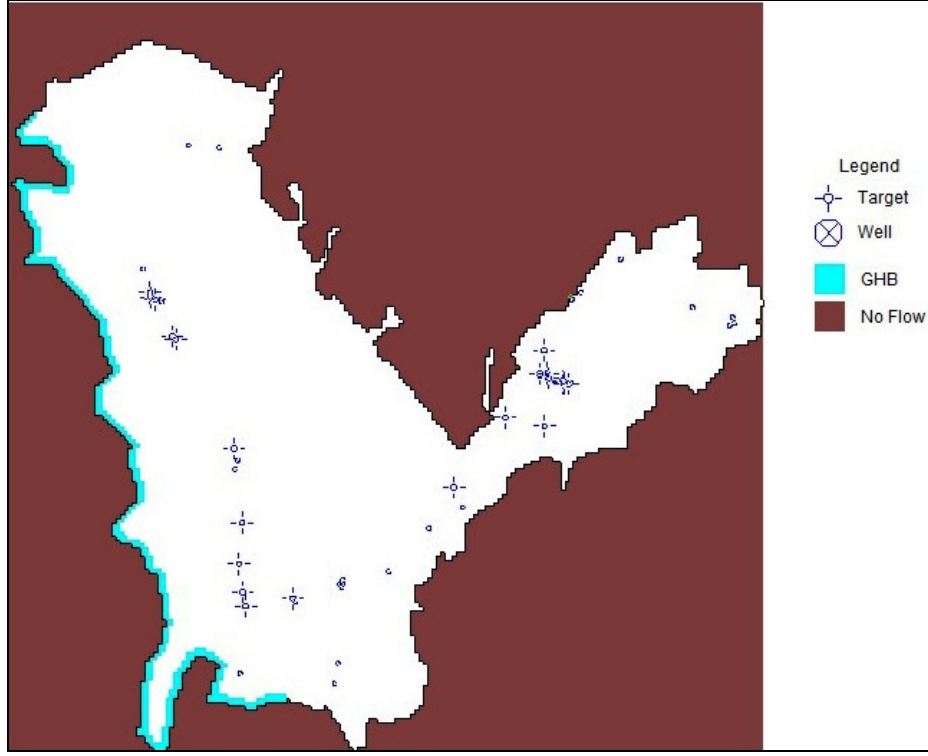
Şekil 4. 15. Modelde 1.tabaka rasat kuyularının yerleşim haritası



Şekil 4. 16. Modelde 2.tabaka rasat kuyularının yerleşim haritası



Şekil 4. 17. Modelde 3.tabaka rasat kuyularının yerleşim haritası



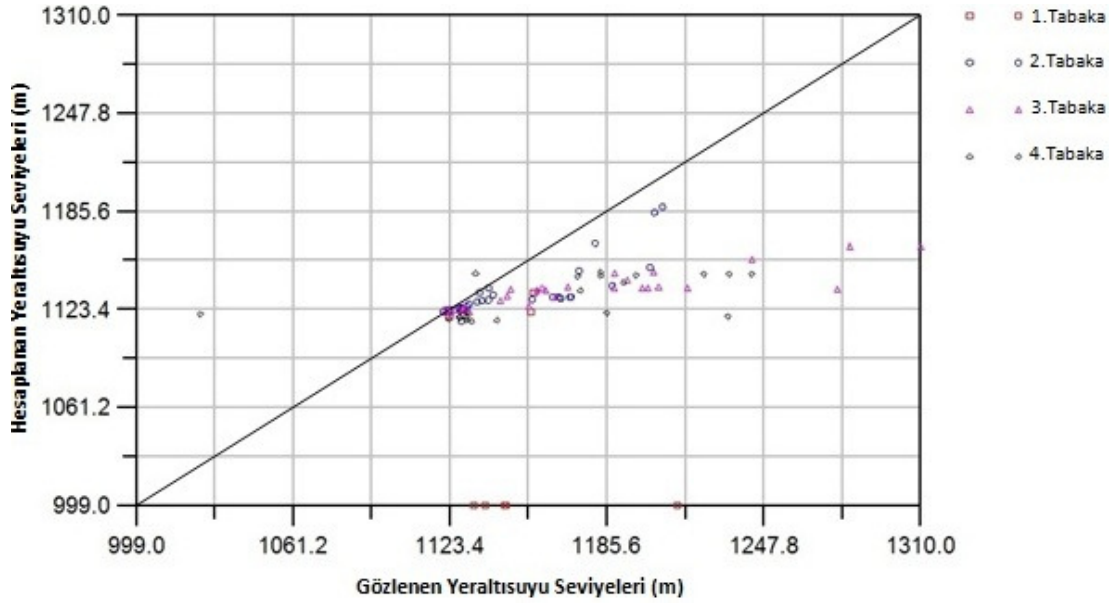
Şekil 4. 18. Modelde 4.tabaka rasat kuyularının yerleşim haritası

#### 4.8. Yeraltısuyu Akım Modelinin Kalibrasyonu

Çalışma alanında 1.tabaka olan alüvyon bol su taşımaktadır. Bunun yanında kireçtaşı ve tuf tabakaları da (2. ve 3. tabakalar) su taşımaktadırlar. Modelde yeraltısuyu akım modelinin kalibrasyonunda 88 adet rasat kuyusunun verilerinden yararlanılmıştır.

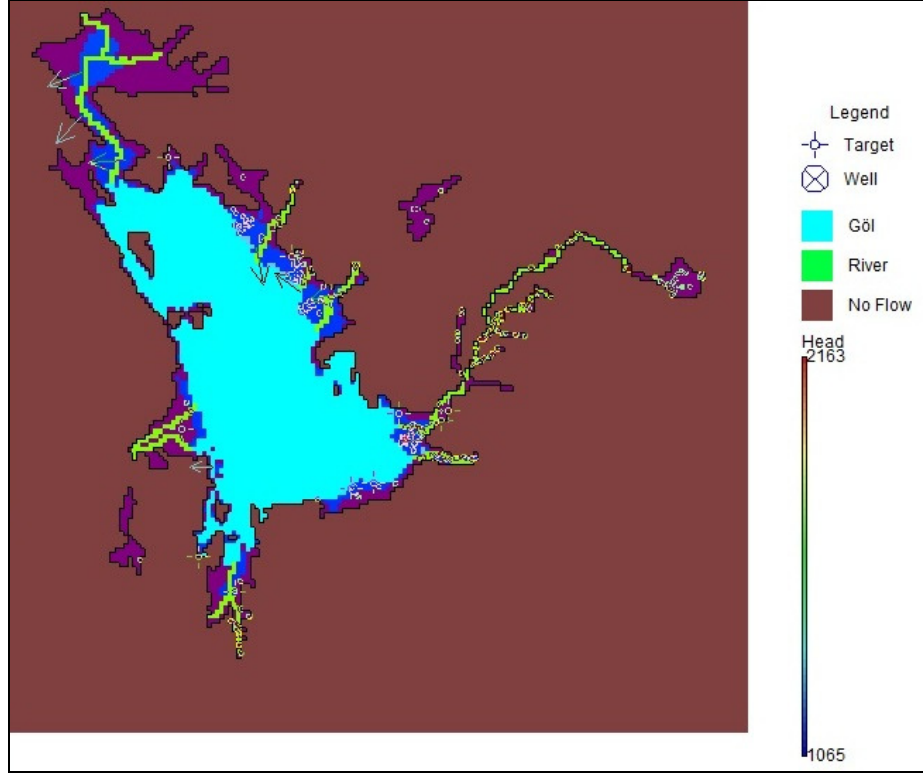
Kalibrasyon çalışmalarında modelin uyumluluğunu kontrol etmek için arazide ölçülen yeraltısuyu statik seviyelerinden yararlanılmaktadır. Bunun için de modelin kalibrasyonunda kullanılan rasat kuyularının çalışma alanındaki yeraltısuyu seviyelerini yansıtması, kalibrasyon ve modelin başarısında çok önemli rol oynamaktadır. Çalışma alanında, kalibrasyon işleminde kuyularının bulunduğu hücrelerde gözlenen yeraltısuyu seviyeleri, modelde hesaplanan seviyeler ile karşılaştırılmıştır.

Kalibrasyon sonucu rasat kuyularına ait gözlenen ve model tarafından hesaplanan yeraltısuyu seviyelerinin karşılaştırılmış halini Şekil 4.19.'de görebilmekteyiz.

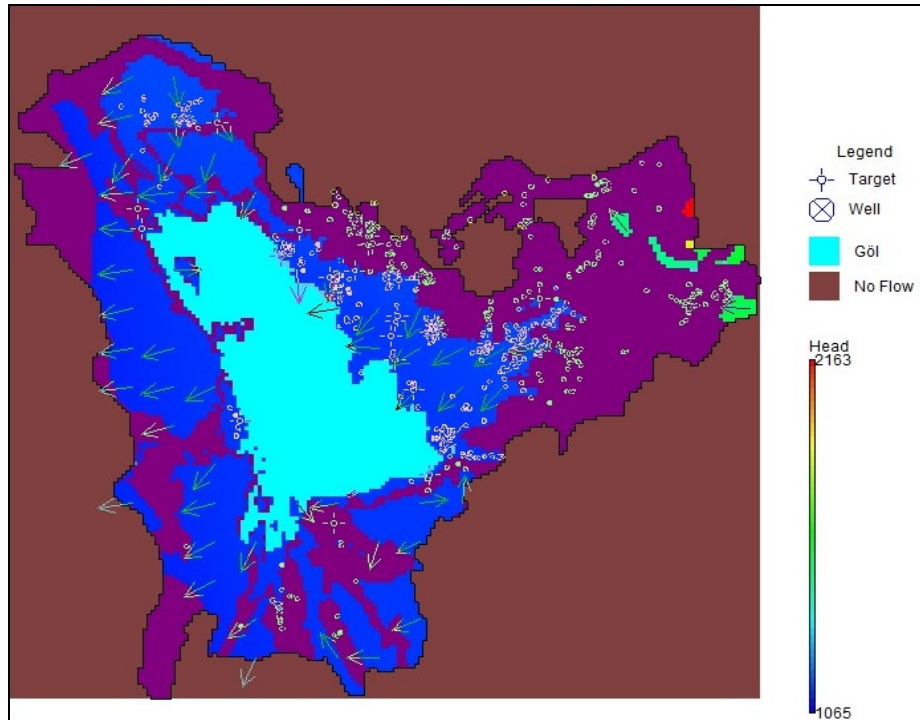


Şekil 4. 19. Kalibrasyon sonucu gözlenen ve hesaplanan yeraltısuyu seviyeleri

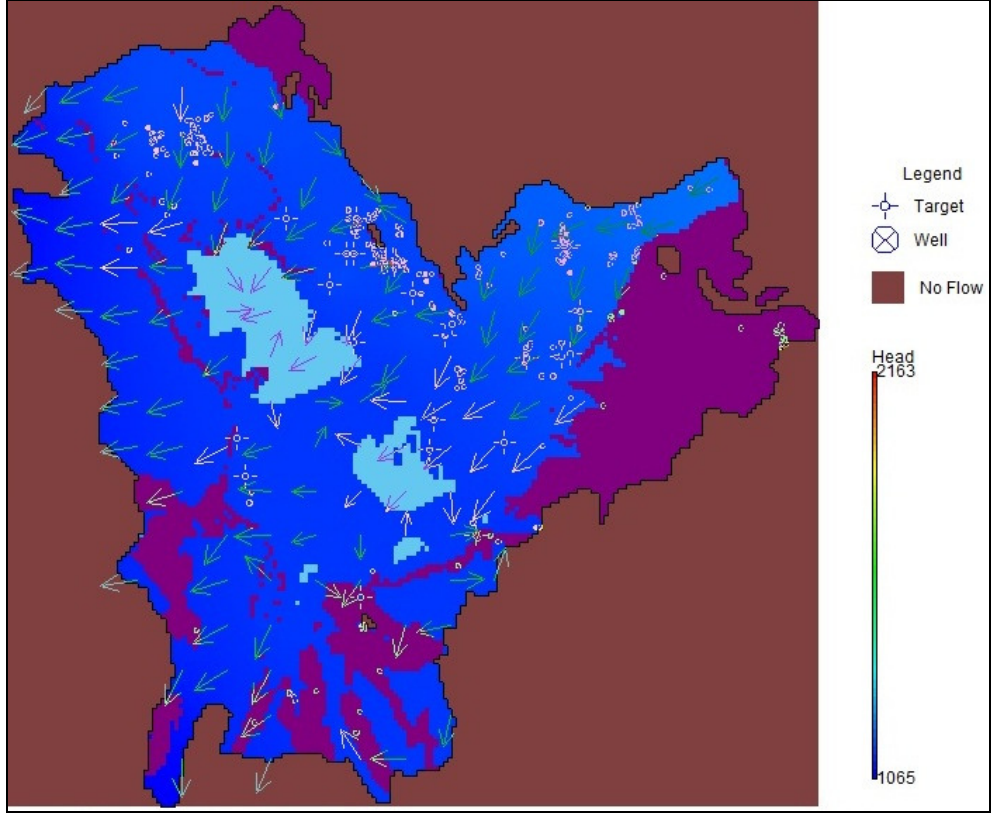
Model tarafından hesaplanan yeraltısuyu seviyeleri ile rasat kuyularındaki yeraltısuyu seviyeleri arasındaki fark +146,96 m ile -96,31 m arasında değişmektedir. Farkların ortalaması 31,13 m, standart sapması ise 37,02 m'dir. Çalışma alanındaki rasat kuyularından 2011 yılına ait yeraltısı seviyelerine göre 1. tabakada alüvyondan oluşan serbest akifer, 2.tabakada kil, kumlu kil, şist, 3. tabakada geçirimsiz (Sultandağı formasyonu) ve 4.tabaka kireçtaşı için kalibre edilmiş yeraltısuyu seviye haritaları Şekil 4.20.-4.23.'de görülmektedir. Yeraltısuyu seviye haritalarında, yeraltısuyu akım yönünün havzanın doğu tarafından batı doğrultusunda olduğu görülmektedir.



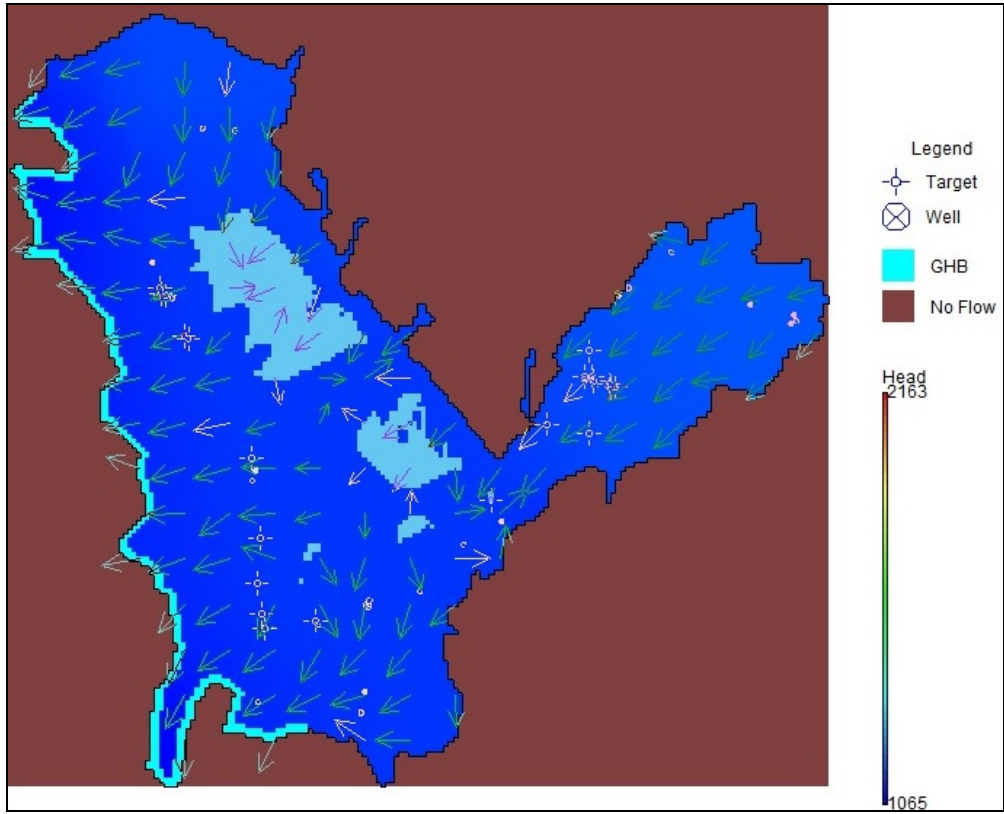
Şekil 4. 20. Modelde 1.tabakanın yeraltısuyu akım yönünü gösteren harita



Şekil 4. 21. Modelde 2.tabakanın yeraltısuyu akım yönünü gösteren harita



Şekil 4. 22. Modelde 3.tabakanın yeraltısuyu akım yönünü gösteren harita

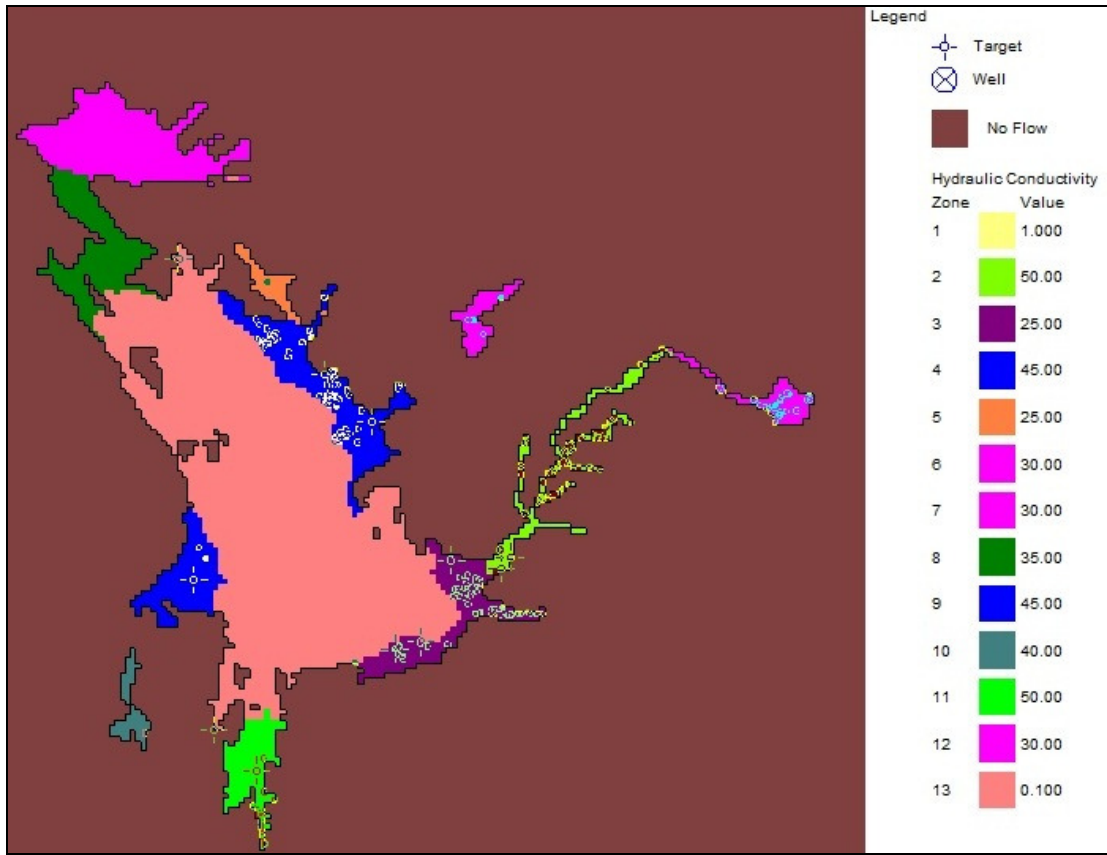


Şekil 4. 23. Modelde 4.tabakanın yeraltısuyu akım yönünü gösteren harita

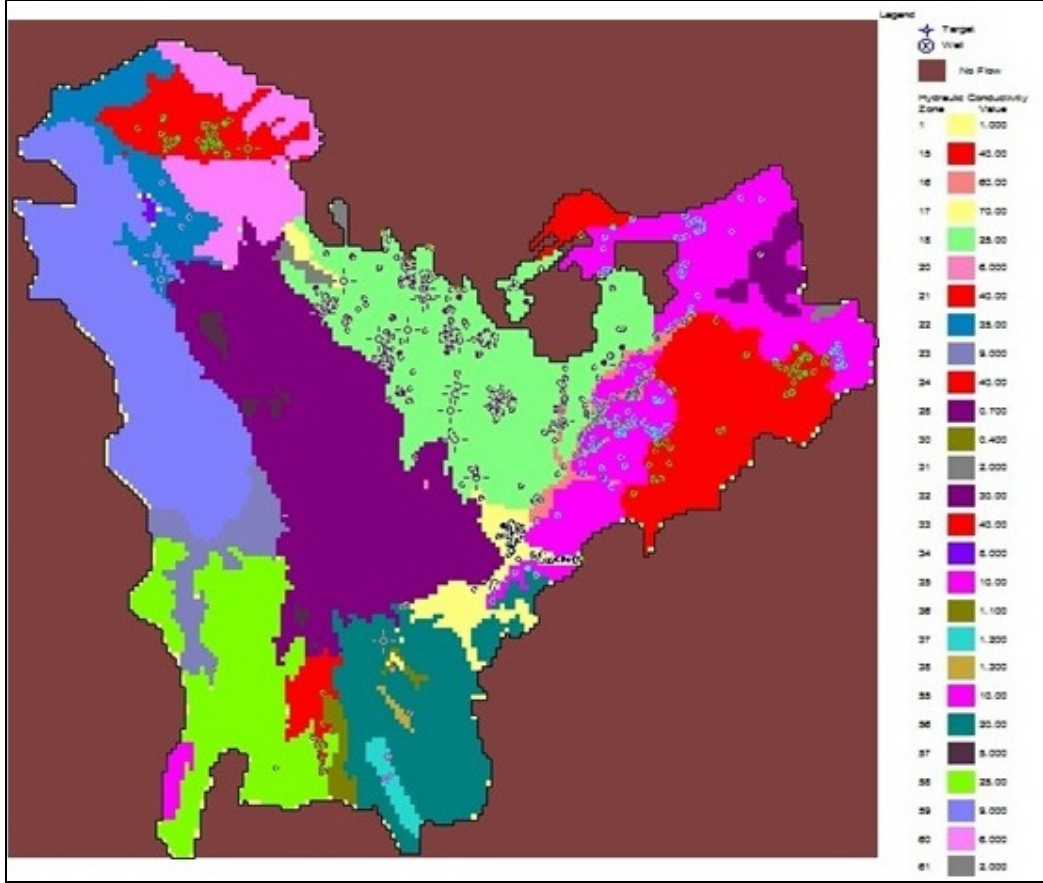


Modelde 1.tabaka, 2.tabaka ve 3.tabakaların bazı bölümlerinde tabaka kalınlıklarının ince olmasından zeminin bünyesindeki suyun tamamının buharlaşması sonucu kuru bölgeler oluşmuştur. Şekil 4.23.'de görüldüğü gibi, göl havzanın batı bölgesinde bulunan yeraltısuyu besleyerek geçirimli formasyonlardan geçerek bu bölgede bulunan akarsuları beslediği tezini doğrulamıştır.

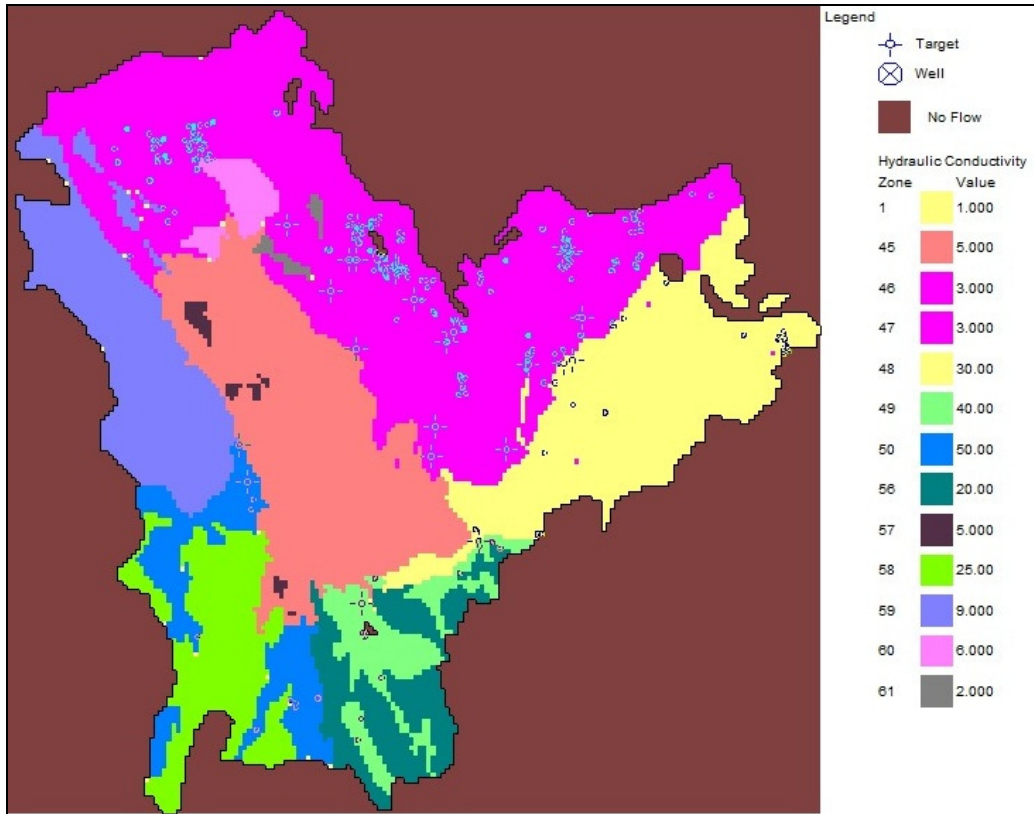
Modelde kalibrasyon sonucunda elde edilen hidrolik iletkenlik katsayıları ( $K_{xy}$ ) Şekil 4.24.-4.27.'da harita üzerinde gösterilmiştir.  $K_z$  değerleri  $K_{xy}$  değerlerinin onda biri olarak alınmıştır.



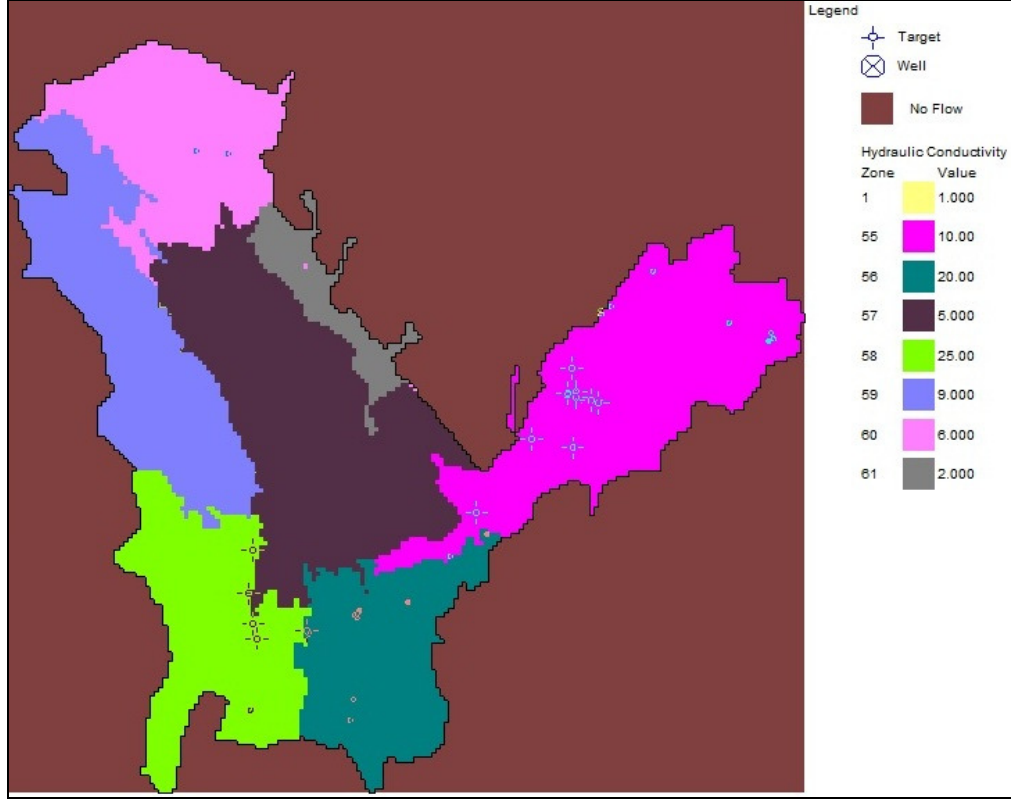
Şekil 4. 24. Modeldeki 1.tabakanın hidrolik iletkenlik katsayı değerleri



Şekil 4. 25. Modeldeki 2.tabakamn hidroluk iletkenlik katsayı değerleri



Şekil 4. 26. Modeldeki 3.tabakamn hidroluk iletkenlik katsayı değerleri



Şekil 4. 27. Modeldeki 4.tabakamın hidrolik iletkenlik katsayı değerleri

#### 4.8.1. Yeraltısuyu akım modellemesi ile hazırlanan su bütçesi ve sonuçları

Çalışma alanında akifer özelliği taşıyan en önemli birimler, alüvyon, yamaç molozu ve kireçtaşlarıdır. Buna ilave olarak çalışma alanındaki Tersiyer yaşlı tortullar genellikle tek bir birimden oluşmayıp farklı litolojik bileşimlerin ardalanması şeklinde görülmektedir. Bu Tersiyer yaşlı tortul kayalar içerisinde bulunan litolojilerin hidrojeolojik özelliklerine bağlı olarak Yarı Geçirimli (Gy) ve Az Geçirimli (Ga) olarak ayırtlanmışlardır. Yarı Geçirimli (Gy) birim olarak genellikle karbonat çimantolu ara katkı ve kireçtaşı düzeyleri bulunan kumtaşı, çakıltaşı ve konglomera ardalanmalı litolojiler alınmıştır. Az Geçirimli (Ga) birim olarak genellikle silisli şist arakatlı, radyolarit, marn, çamurtaşı, kiltası ardalanmalı litolojiler ayırtlanmıştır.

Beyşehir Havzası'nın 2011 yılı mayıs ayı için su bütçesi, yeraltısuyu akım modelinden faydalanılarak hesaplanmıştır. Akiferin beslenme ve boşalım miktarları, hem debi ( $m^3/gün$ ) hem de su yüksekliği olarak ( $m/ay$ ) verilmiştir. Model sonucunda çalışma alanının genel su bütçesi Şekil 4.28.'de görülmektedir.

MODFLOW Mass Balance				
From Column	1	To Column	182	OK
From Row	1	To Row	180	Graph
In Layer	0			Export...
	INFLOWS		OUTFLOWS	
Storage	0		0	
X min	0		0	
X max	0		0	
Y min	0		0	
Y max	0		0	
Top	0		0	
Bottom	0		0	
Well	0		49475.0843407363	
C.H.	486588.337808702		84068.9189306342	
GHB	0		793315.380126953	
River	285434.949028015		394671.064002991	
Drain	0		0	
Stream	0		0	
Recharge	582286.520171165		0	
ET	0		32739.1634187698	
Lake	0		0	
TOTAL	1354309.80700788		1354269.61082008	Percent Error 0.00296806418405601

Şekil 4. 28. Modelde hesaplanan akiferin genel su bütçesi

Model sonucunda, akiferin genel su bütçesine göre; akifere giren su akışının 486.588,34 m<sup>3</sup>/gün'ü sabit seviyeli hidrolik yükten, 285.434,95 m<sup>3</sup>/gün'ü akarsulardan, 582.286,52 m<sup>3</sup>/gün'ü ise yağıştan kaynaklanmaktadır. Buna göre akiferin toplam beslenimi, 1.354.309,81 m<sup>3</sup>/gün olarak hesaplanmıştır. Akiferden çıkan su akışının 49.475,08 m<sup>3</sup>/gün'ü şahıs ve işletme kuyularından yapılan su çekimlerinden, 84.068,92 m<sup>3</sup>/gün'ü sabit seviyeli hidrolik yüke boşalım, 793.315,38 m<sup>3</sup>/gün'ü genel hidrolik yük sınırından boşalım, 394.671,06 m<sup>3</sup>/gün'ü yer altı suyundan nehirlere boşalım, 32.739,16 m<sup>3</sup>/gün'ü buharlaşma olarak hesaplanmıştır. Akiferin toplam boşalım miktarı, 1.354.269,61 m<sup>3</sup>/gün olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.28.). Çalışma alanında akiferin yağıştan süzülme sonucu beslenim miktarı mayıs ayı için; 582.286,52 m<sup>3</sup>/gün \* 30 gün = 17.468.595,6 m<sup>3</sup> olmaktadır. 2011 yılı mayıs ayı için çalışma alanında ölçülen yağış miktarı 41,6 mm, 2011 yılındaki toplam yağış miktarı ise 450 mm olarak ölçülmüştür (Çizelge 4.2.). 2011 yılı için akiferin yağıştan süzülme sonucu beslenim miktarı; (450mm/41,6mm)\* 17.468.595,6 m<sup>3</sup> =188.963.173,6 m<sup>3</sup>/yıl olarak hesaplanmıştır.

Modelleme sonucunda, akiferin genel su bütçesine bakıldığında, akiferi besleyen en önemli etkenin havzaya düşen yağışlardan kaynaklanmakta olduğu görülmüştür. Ayrıca, havzada bulunan sabit seviyeli hidrolik yük olan Beyşehir Gölü ve akarsulardan süzülme ile akiferin beslendiği anlaşılmıştır. Akiferin boşalımında etkili faktör, havzanın batısında bulunan hidrolik yük sınırları olarak belirlenen bölümden havza sınırları dışına sızmalar sonucu çıkan yeraltısuyu akımıdır. Bu kısımdan sızarak akiferden çıkan yeraltısuyunun, havza sınırları dışındaki Köprüçay ve/veya Manavgat ırmaklarını beslediği düşünülmektedir. Ayrıca akiferin Beyşehir Gölü'nü beslediği, kuyulardan pompajla çekimlerinin de akiferin boşalımında etkili olduğu model sonucunda görülmektedir (Şekil 4.28.).

Şekil 4.28.'de MODFLOW programı ile modelleme sonucunda % 0,00296'lık sayısal hata olduğu da görülmektedir. Bu durum, modelde kullanılan program tarafından hesaplanan akiferin beslenme ve boşalımı arasındaki farkın hatasıdır.

Model parametrelerinin akifere olan beslenme ve boşalım etkisinin su yüksekliği cinsinden belirlenebilmesi için hidrolik akım değerleri, modeldeki aktif hücre alanına bölünmüştür. Modelde dört tabakada aktif hücre sayısı farklı olduğundan, 3. Tabaka diğer tabakaları da kapsadığı için bu tabakanın aktif hücre alanına bölünmesiyle su yükseklikleri (mm/ay) hesaplanmıştır (Çizelge 4.4.). Model sonucunda her tabakanın su bütçesi Şekil 4.29.-4.32. de verilmiştir.

Beyşehir Havzasının toplam 4117 km<sup>2</sup>'lik alanının yağıştan beslenimi 0.36 mm/gün olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4. 4. Modelin genel su bütçesi

Model Parametreleri	Akiferin Beslenimi		Akiferin Boşalımı	
	m <sup>3</sup> /gün	mm/ay	m <sup>3</sup> /gün	mm/ay
Sabit seviyeli Hidrolik Yük (CH)	486,588.34	3.62968	84,068.92	0.62711
Nehir (River)	285,434.95	2.12918	394,671.06	2.94402
Yağış (Recharge)	582,286.52	4.34353	-	-
Genel Hidrolik Yük Sınırı (GHB)	-	-	793,315.38	5.91769
Kuyu (Well)	-	-	49,475.08	0.36906
Buharlaşma (ET)	-	-	32,739.16	0.24422
Toplam:	1,354,309.81	10.1024	1,354,269.60	10.1021

MODFLOW Mass Balance

From Column: 1 To Column: 182  
 From Row: 1 To Row: 180  
 In Layer: 1

OK  
Graph  
Export...

	INFLOWS	OUTFLOWS	
Storage	0	0	
X min	0	0	
X max	0	0	
Y min	0	0	
Y max	0	0	
Top	0	0	
Bottom	381282.67171713	320162.353274763	
Well	0	1193.49097830057	
C.H.	23490.395224873	4367.01244135073	
GHB	0	0	
River	285434.949028015	394671.064002991	
Drain	0	0	
Stream	0	0	
Recharge	54267.125	0	
ET	0	24098.1954727173	
Lake	0	0	
TOTAL	744475.140970018	744492.116170122	Percent Error: -0.00228013074468571

Şekil 4. 29. Modelde 1.tabaka için su bütçesi

Model sonucunda 1.tabakanın beslenimi; alt tabakadan 381.282,67 m<sup>3</sup>/gün, sabit seviyeli hidrolik yükten 23.490,39 m<sup>3</sup>/gün, akarsulardan 285.434,95 m<sup>3</sup>/gün, yağıştan 54.267,13 m<sup>3</sup>/gün olmak üzere toplamda 744.475,14 m<sup>3</sup>/gün olmaktadır. 1.tabakanın boşalımı ise; alt tabakaya sızma ile 320.162,35 m<sup>3</sup>/gün, kuyulardan çekim ile 1.193,49 m<sup>3</sup>/gün, sabit seviyeli hidrolik yük ile 4.367,01 m<sup>3</sup>/gün, yeraltısuyundan nehirlere 394.671,06 m<sup>3</sup>/gün, buharlaşma 24.098,20 m<sup>3</sup>/gün olmak üzere toplamda 744.492,17 m<sup>3</sup>/gün olmaktadır (Şekil 4.29.).

Modelde 1.tabaka, 4675 adet aktif hücreye sahiptir. Her bir hücre 500mx500m olduğu için bu tabakadaki aktif hücre alanı 1.168.750.000 m<sup>2</sup>'dir. Şekil 4.29.'de model tarafından hesaplanan değerler su yüksekliği cinsinden çevrilerek Çizelge 4.5.'de verilmiştir.

Çizelge 4. 5. Modelde 1.tabakanın genel su bütçesi

Model Parametreleri	Akiferin Beslenimi		Akiferin Boşalımı	
	m <sup>3</sup> /gün	mm/ay	m <sup>3</sup> /gün	mm/ay
Alt tabaka (Bottom)	381,282.67	9.78066	320,162.35	8.2128
Sabit seviyeli Hidrolik Yük (CH)	23,490.39	0.60258	4,367.01	0.11202
Nehir (River)	285,434.95	7.32197	394,671.06	10.1241
Yağış (Recharge)	54,267.13	1.39206	-	-
Kuyu (Well)	-	-	1,193.49	0.03062
Buharlaştırma (ET)	-	-	24,098.20	0.61817
<b>Toplam:</b>	<b>744,475.14</b>	<b>19.0973</b>	<b>744,492.11</b>	<b>19.0977</b>

Model sonucunda 2.tabakanın beslenimi; alt tabakadan 350.051,26 m<sup>3</sup>/gün, üst tabakadan sızma ile 320.162,35 m<sup>3</sup>/gün, sabit seviyeli hidrolik yükten 463.097,94 m<sup>3</sup>/gün, yağıştan 243.779,11 m<sup>3</sup>/gün olmak üzere toplamda 1.377.090,66 m<sup>3</sup>/gün olmaktadır. Bu tabakadan boşalım ise; üst tabakaya 381.282,67 m<sup>3</sup>/gün, alt tabakaya sızma ile 883.887,99 m<sup>3</sup>/gün, sabit seviyeli hidrolik yükten 79.701,91 m<sup>3</sup>/gün, 8640,97 m<sup>3</sup>/gün kuyulardan pompaj çekimleri ile ve 23.581,95 m<sup>3</sup>/gün buharlaştırma olmak üzere toplamda 1.377.095,48 m<sup>3</sup>/gün olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.30.).

MODFLOW Mass Balance				
From Column	1	To Column	182	
From Row	1	To Row	180	
In Layer	2			
	INFLOWS		OUTFLOWS	
Storage	0		0	
X min	0		0	
X max	0		0	
Y min	0		0	
Y max	0		0	
Top	320162.353274763		381282.67171713	
Bottom	350051.261199877		883887.985573853	
Well	0		23581.9481301308	
C.H.	463097.942583829		79701.9064892835	
GHB	0		0	
River	0		0	
Drain	0		0	
Stream	0		0	
Recharge	243779.105263233		0	
ET	0		8640.96794605255	
Lake	0		0	
TOTAL	1377090.6623217		1377095.47985645	-0.000349833634988547

Şekil 4. 30. Modelde 2.tabaka için su bütçesi

Modelde 2.tabaka, 15169 adet aktif hücreye sahiptir. Her bir hücre 500mx500m olduğu için bu tabakadaki aktif hücre alanı 3.792.250.000 m<sup>2</sup>'dir. Şekil 4.30.'da model tarafından hesaplanan değerler su yüksekliği cinsinden çevrilerek Çizelge 4.6.'de verilmiştir.

Çizelge 4. 6. Modelde 2.tabakanın genel su bütçesi

Model Parametreleri	Akiferin Beslenimi		Akiferin Boşalımı	
	m <sup>3</sup> /gün	mm/ay	m <sup>3</sup> /gün	mm/ay
Alt tabaka (Bottom)	350,051.26	2.76921	883,887.99	6.99232
Üst tabaka (Top)	320,162.35	2.53276	381,282.67	3.01628
Sabit seviyeli Hidrolik Yük (CH)	463,097.94	3.66351	79,701.91	0.63051
Yağış (Recharge)	243,779.11	1.92851	-	-
Kuyu (Well)	-	-	23,581.95	0.18655
Buharlaşıma (ET)	-	-	8,640.97	0.06836
<b>Toplam:</b>	<b>1,377,090.66</b>	<b>10.894</b>	<b>1,377,095.49</b>	<b>10.894</b>

MODFLOW Mass Balance		
From Column	1	To Column
From Row	1	To Row
In Layer	3	
	OK	
	Graph	
	Export...	
	INFLOWS	OUTFLOWS
Storage	0	0
X min	0	0
X max	0	0
Y min	0	0
Y max	0	0
Top	883887.985573853	350051.261199877
Bottom	490686.51371667	1145520.07054649
Well	0	21389.9997130483
C.H.	0	0
GHB	0	0
River	0	0
Drain	0	0
Stream	0	0
Recharge	142380.85663271	0
ET	0	0
Lake	0	0
		Percent Error
TOTAL	1516955.35592323	1516961.33145942
		-0.000393915641212677

Şekil 4. 31. Modelde 3.tabaka için su bütçesi

3.tabakasının beslenimi; üst tabakadan sızma ile 883.887,99 m<sup>3</sup>/gün, alt tabakadan 490.686,51 m<sup>3</sup>/gün ve yağıştan 142.380,86 m<sup>3</sup>/gün olmak üzere toplamda



1.516.955,36 m<sup>3</sup>/gün olmaktadır. Boşalım ise; üst tabakaya 350.051,26 m<sup>3</sup>/gün, alt tabakaya sızma ile 1.145.520,07 m<sup>3</sup>/gün ve kuyulardan yapılan pompaj çekimleri ile 21.390 m<sup>3</sup>/gün olmaktadır. Böylelikle toplam boşalım, 1.516.961,33 m<sup>3</sup>/gün olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.31.).

Modelde 3.tabaka, 16087 adet aktif hücreye sahiptir. Her bir hücre 500mx500m olduğu için bu tabakadaki aktif hücre alanı 4.021.750.000 m<sup>2</sup>'dir. Şekil 4.31.'da model tarafından hesaplanan değerler su yüksekliği cinsinden çevrilerek Çizelge 4.7.'de verilmiştir.

Çizelge 4. 7. Modelde 3.tabakanın genel su bütçesi

Model Parametreleri	Akiferin Beslenimi		Akiferin Boşalımı	
	m <sup>3</sup> /gün	mm/ay	m <sup>3</sup> /gün	mm/ay
Alt tabaka (Bottom)	490,686.51	3.66025	1,145,520.07	8.54494
Üst tabaka (Top)	883,887.99	6.59331	350,051.26	2.61119
Yağış (Recharge)	142,380.86	1.06208	-	-
Kuyu (Well)	-	-	21,390.00	0.15956
<b>Toplam:</b>	<b>1,516,955.36</b>	<b>11.3156</b>	<b>1,516,961.33</b>	<b>11.3157</b>

MODFLOW Mass Balance			
From Column	1	To Column	182
From Row	1	To Row	180
In Layer	4		
	INFLOWS		OUTFLOWS
Storage	0		0
X min	0		0
X max	0		0
Y min	0		0
Y max	0		0
Top	1145520.07054649		490686.51371667
Bottom	0		0
Well	0		3309.64551925659
C.H.	0		0
GHB	0		793315.380126953
River	0		0
Drain	0		0
Stream	0		0
Recharge	141859.433275223		0
ET	0		0
Lake	0		0
TOTAL	1287379.50382172		1287311.53936288
			Percent Error
			0.00527942636199774

Şekil 4. 32. Modelde 4.tabaka için su bütçesi

4.tabakasının beslenimi; üst tabadan sızma ile 1.145.520,07 m<sup>3</sup>/gün ve yağıştan 141.859,43 m<sup>3</sup>/gün olmak üzere toplamda 1.287.379,50 m<sup>3</sup>/gün olmaktadır. Boşalım ise; üst tabakaya 490.686,51 m<sup>3</sup>/gün, sabit seviyeli hidrolik yüke boşalım 793.315,38 m<sup>3</sup>/gün ve kuyulardan yapılan pompaj çekimleri ile 3.309,65 m<sup>3</sup>/gün olmaktadır. Böylelikle toplam boşalım, 1.287.311,54 m<sup>3</sup>/gün olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.32.).

Modelde 4.tabaka, 12774 adet aktif hücreye sahiptir. Her bir hücre 500mx500m olduğu için bu tabakadaki aktif hücre alanı 3.193.500.000 m<sup>2</sup>'dir. Şekil 4.32.'de model tarafından hesaplanan değerler su yüksekliği cinsinden çevrilerek Çizelge 4.8.'de verilmiştir.

Çizelge 4. 8. Modelde 4.tabakanın genel su bütçesi

Model Parametreleri	Akiferin Beslenimi		Akiferin Boşalımı	
	m <sup>3</sup> /gün	mm/ay	m <sup>3</sup> /gün	mm/ay
Üst tabaka (Top)	1,145,520.07	10.7611	490,686.51	4.60955
Yağış (Recharge)	141,859.43	1.33264	-	-
Genel Hidrolik Yük Sınırı (GHB)	-	-	793,315.38	7.45247
Kuyu (Well)	-	-	3,309.65	0.03109
Toplam:	1,287,379.50	12.0937	1,287,311.54	12.0931

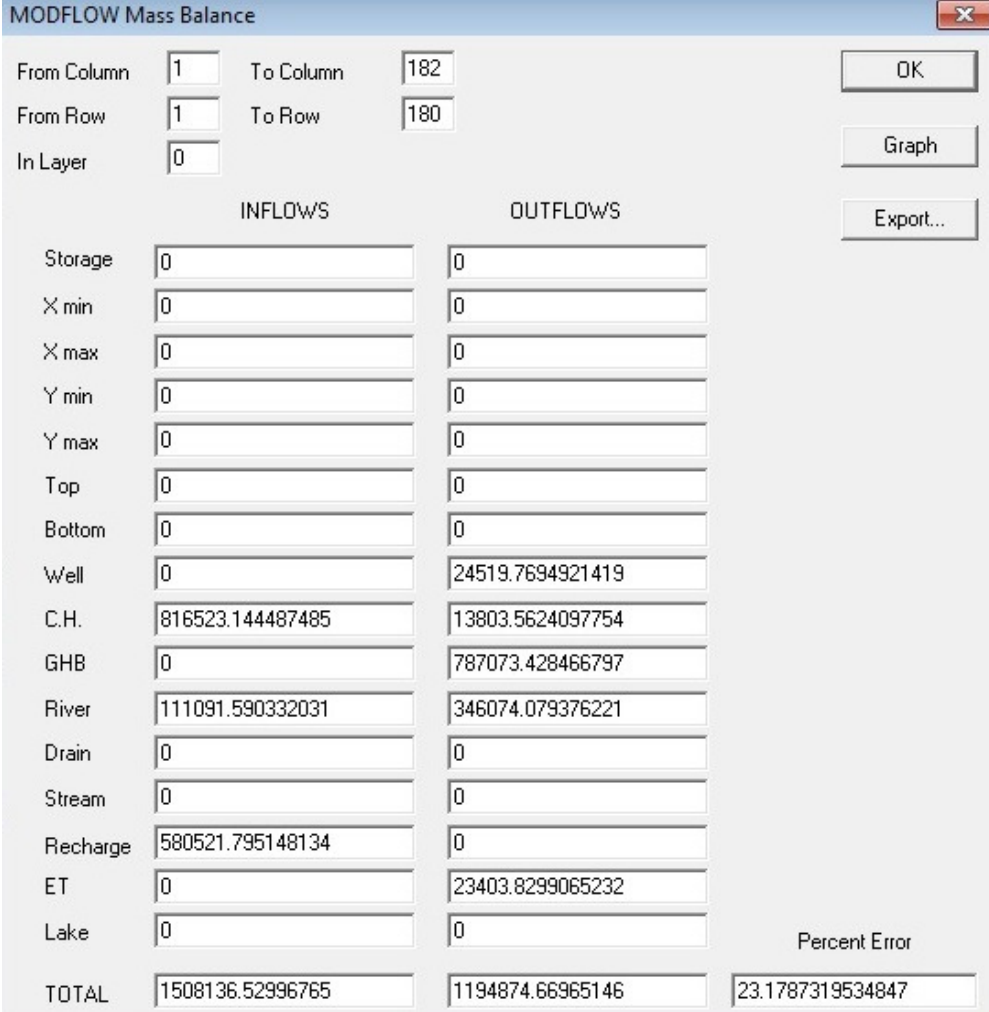
#### 4.8.2. Gelecekte karşılaşılabilecek senaryoların simülasyonları

Tezin bu bölümünde, iki farklı senaryo sonucunda yeraltısuyu kullanımındaki artış, azalış ile iklimsel değişiklikler sonucunda çalışma alanında incelenen akifer sisteminde değişikliklerin incelenmesine çalışılmıştır.

Bu senaryolardan ilki; pompaj miktarında %50 azalış ve %50 artış sonucunda akifer sisteminde meydana gelecek değişikliklerin incelenmesi, ikincisi ise; Uluslar arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) 2007 raporu sonucuna göre, gelecekte iklimsel değişikliklere bağlı olarak çalışma alanındaki yeraltısuyu değişimlerinin belirlenmesidir.

#### 4.8.3. Çalışma alanındaki pompaj miktarındaki değişimler

Çalışma alanındaki kuyularda, pompaj miktarında %50 azalış ve %50 artış sonucunda akifer sisteminin vereceği tepkiler incelenmiştir. 2011 yılı mayıs ayına göre yapılan modellemede kuyuların pompaj miktarı %50 azaltılması sonucundaki değişimi Şekil 4.33.'de verilmiştir.



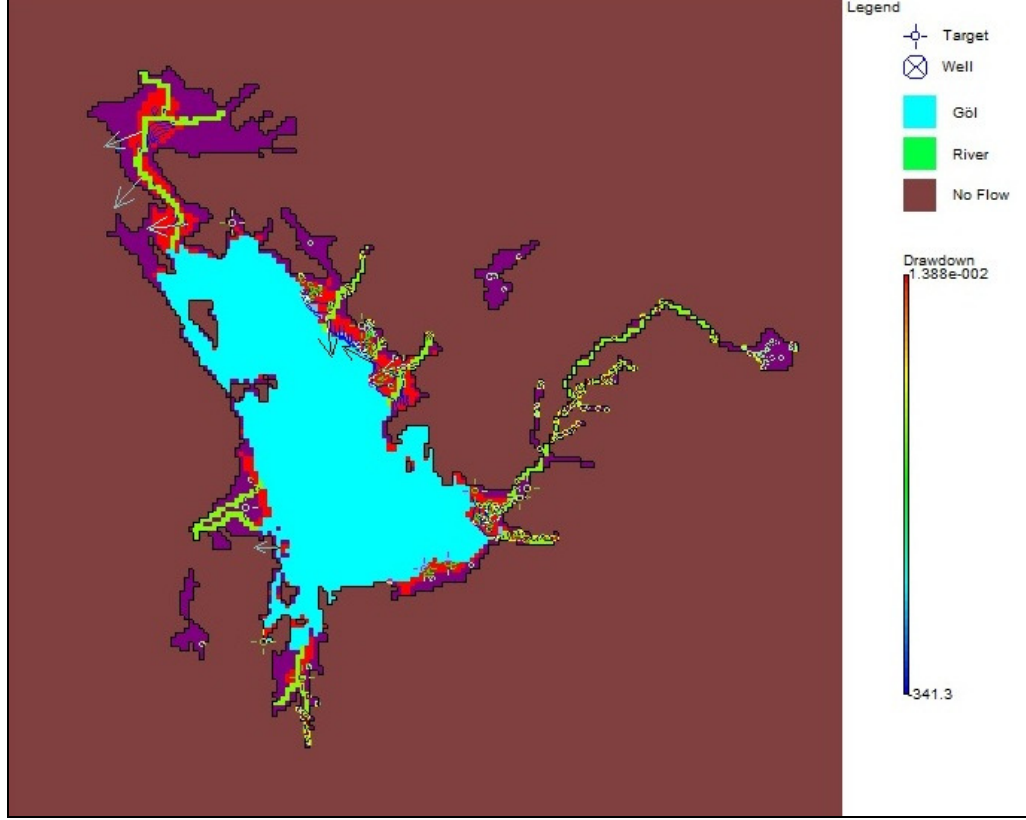
The image shows a screenshot of the MODFLOW Mass Balance dialog box. It displays the following data:

	INFLOWS	OUTFLOWS	Percent Error
Storage	0	0	
X min	0	0	
X max	0	0	
Y min	0	0	
Y max	0	0	
Top	0	0	
Bottom	0	0	
Well	0	24519.7694921419	
C.H.	816523.144487485	13803.5624097754	
GHB	0	787073.428466797	
River	111091.590332031	346074.079376221	
Drain	0	0	
Stream	0	0	
Recharge	580521.795148134	0	
ET	0	23403.8299065232	
Lake	0	0	
TOTAL	1508136.52996765	1194874.66965146	23.1787319534847

Şekil 4. 33. Pompajın %50 azaltılması sonucu modelin su bütçesi

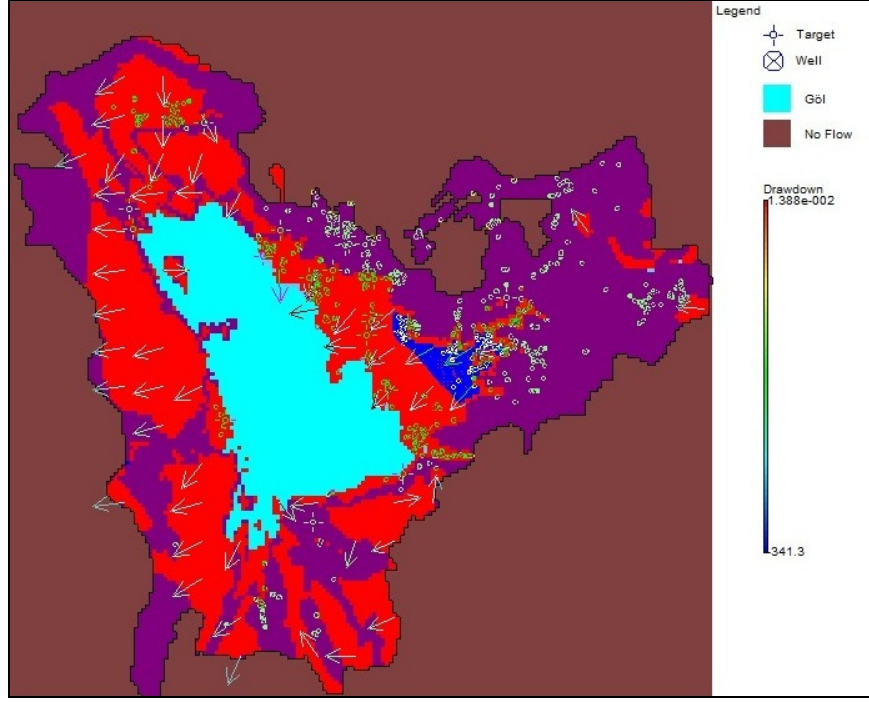
Pompajın %50 azaltılması sonucunda akiferin genel su bütçesine bakıldığında, akifere giren su akışının 816.523,14 m<sup>3</sup>/gün'ü sabit seviyeli hidrolik yükten, 111.091,59 m<sup>3</sup>/gün'ü akarsulardan, 580.521,80 m<sup>3</sup>/gün'ü ise yağıştan kaynaklanmaktadır. Buna göre akiferin toplam beslenimi, 1.508.136,52 m<sup>3</sup>/gün olarak hesaplanmıştır. Akiferden çıkan su akışının 13.803,56 m<sup>3</sup>/gün'ü sabit seviyeli hidrolik yüke boşalım, 787.073,43m<sup>3</sup>/gün'ü genel hidrolik yük sınırından boşalım,

346.074,08 m<sup>3</sup>/gün'ü yeraltısuyundan nehirlere boşalım, 23.403,83 m<sup>3</sup>/gün'ü buharlaşma olarak hesaplanmıştır. Akiferin toplam boşalım miktarı, 1.194.874,67 m<sup>3</sup>/gün olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.33.).

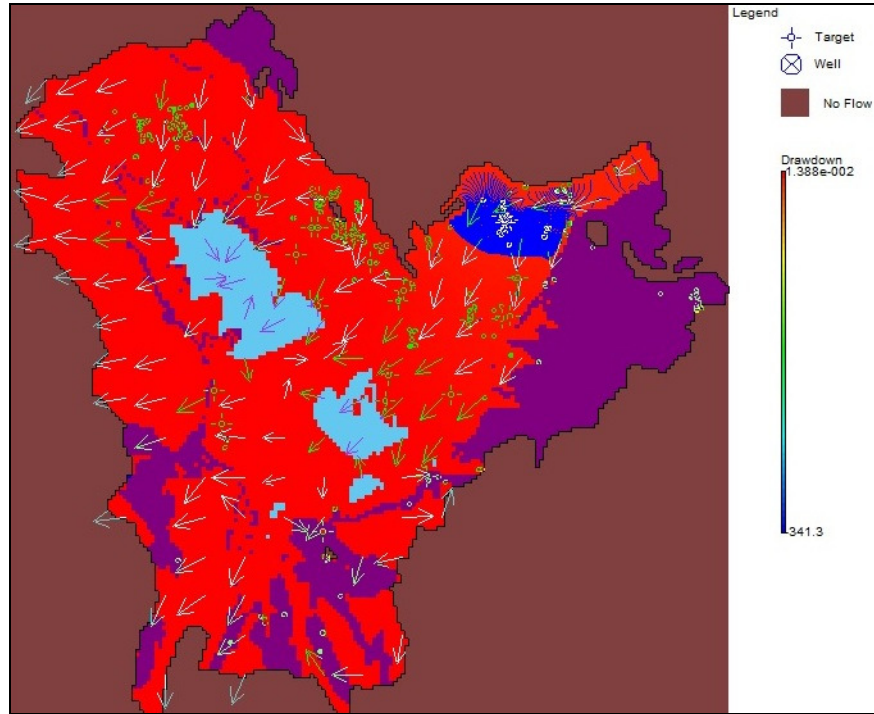


Şekil 4. 34. Modelde 1.tabakadaki kuyulardan %50 pompajın azaltılması sonucu oluşan eş yeraltısuyu alçalma eğrisi

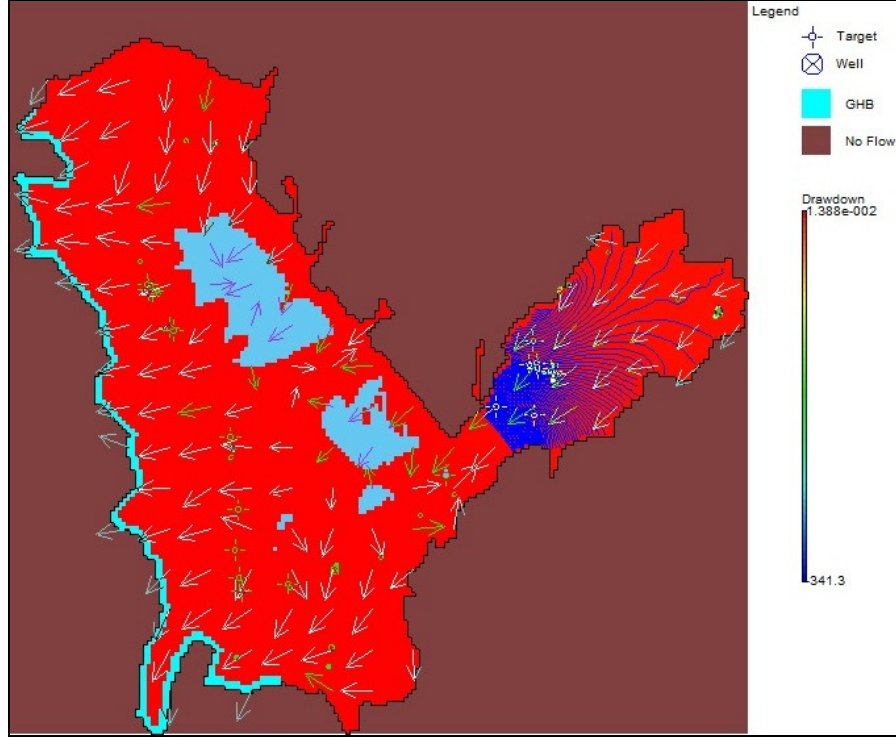
Şekil 4.34.'de görüldüğü gibi 1.tabakadaki mevcut kuyulardan pompaj ile %50 oranında suyun azaltılması sonucunda negatif değerler ortaya çıkmıştır. Burada alçalma değil, su yükselmesi söz konusudur. Negatif değerler bize, yeraltısuyunun bu bölümlerde, normal modelimize göre kıyas yaptığını ve bu kıyasın sonucunda yeraltısuyunda kuyulardan pompajı azaltığımız için su fazlası olduğunu göstermektedir. Şekil 4.34.'de, 1.tabakada eflatun renkli kısımlar, tabaka kalınlıklarının bu bölümlerde ince olmasından dolayı buharlaşma sonucu tamamen kurduğunu göstermektedir.



Şekil 4. 35. Modelde 2.tabakadaki kuyulardan %50 pompajın azaltılması sonucu oluşan eş yeraltısuyu alçalma eğrisi



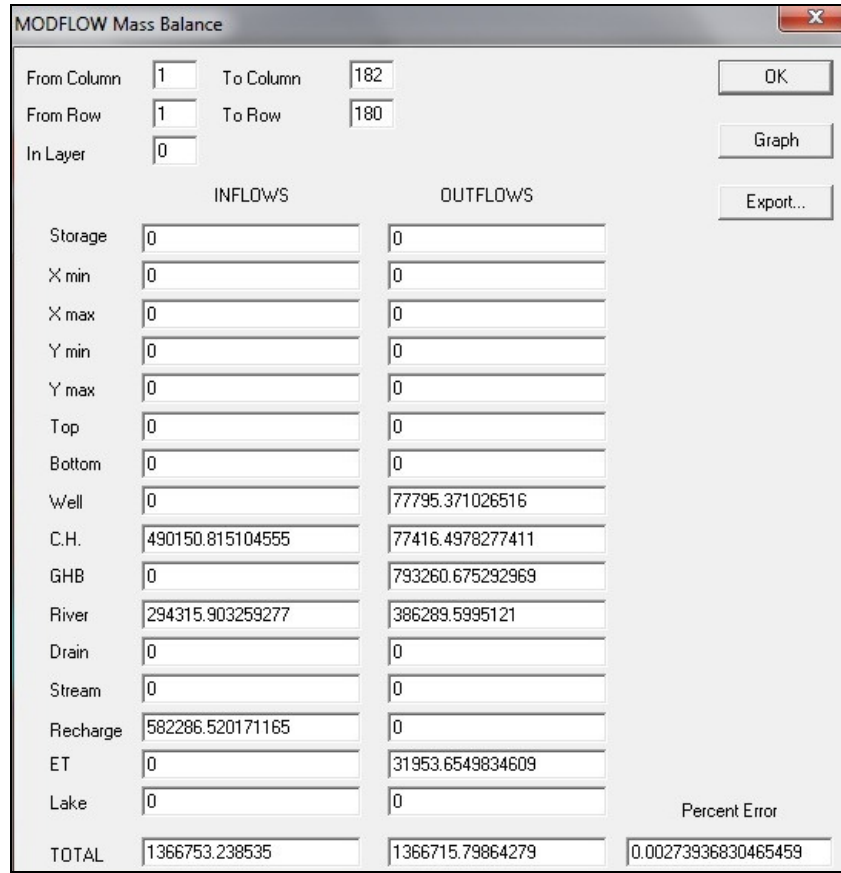
Şekil 4. 36. Modelde 3.tabakadaki kuyulardan %50 pompajın azaltılması sonucu oluşan eş yeraltısuyu alçalma eğrisi



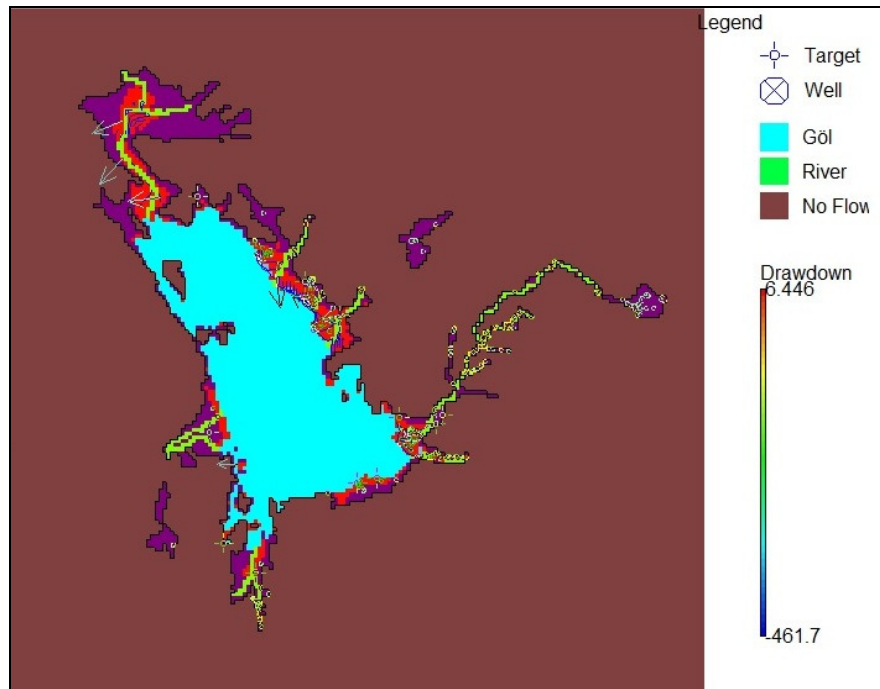
Şekil 4. 37. Modelde 4.tabakadaki kuyulardan %50 pompajın azaltılması sonucu oluşan eş yeraltısuyu alçalma eğrisi

Kuyuların pompaj miktarı %50 artırılması sonucundaki modelin genel su bütçesi ise Şekil 4.38. de verilmiştir.

Pompajın %50 artırılması sonucunda akiferin genel su bütçesine bakıldığında, akifere giren su akışının  $490.150,82 \text{ m}^3/\text{gün}'ü$  sabit seviyeli hidrolik yükten,  $294.315,90 \text{ m}^3/\text{gün}'ü$  akarsulardan,  $582.286,52 \text{ m}^3/\text{gün}'ü$  ise yağıştan kaynaklanmaktadır. Buna göre akiferin toplam beslenimi,  $1.366.753,24 \text{ m}^3/\text{gün}$  olarak hesaplanmıştır. Akiferden çıkan su akışının  $77.795,37 \text{ m}^3/\text{gün}'ü$  şahıs ve işletme kuyularından yapılan su çekimlerinden,  $77.417,00 \text{ m}^3/\text{gün}'ü$  sabit seviyeli hidrolik yüke boşalım,  $793.260,68 \text{ m}^3/\text{gün}'ü$  genel hidrolik yük sınırından boşalım,  $386.289,60 \text{ m}^3/\text{gün}'ü$  yeraltısuyundan nehirlere,  $31.953,65 \text{ m}^3/\text{gün}'ü$  buharlaşma olarak hesaplanmıştır. Akiferin toplam boşalım miktarı,  $1.366.715,80 \text{ m}^3/\text{gün}$  olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.38.).

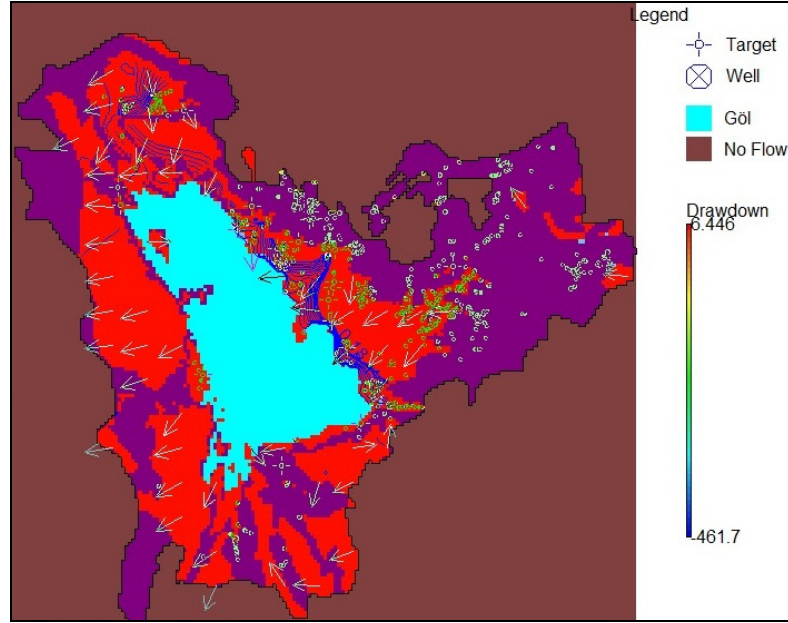


Şekil 4. 38. Pompajın %50 arttırılması sonucu modelin su bütçesi

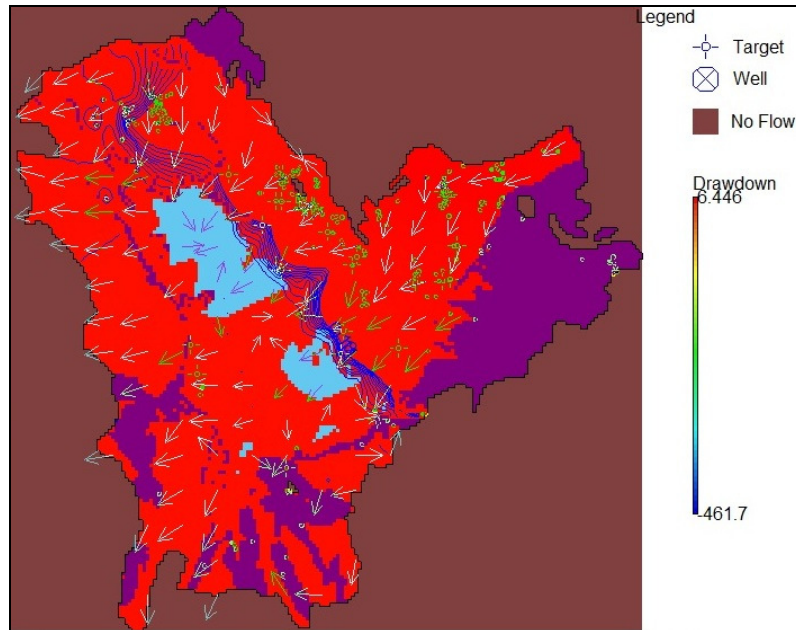


Şekil 4. 39. Modelde 1.tabakadaki kuyulardan %50 pompajın arttırılması sonucu oluşan eş yeraltısuyu alçalma eğrisi

Çalışma alanında 1.tabakada yer alan kuyulardan modelde çekilen yeraltısuyu miktarlarını %50 artırarak yapılan modelleme sonucunda elde edilen eş yeraltısuyu alçalma eğrisi Şekil 4.39.'de görülmektedir. Şekil 4.39.'e göre, 1.tabakanın orta kısımlarındaki yeraltısuyu alçalma miktarı çok azdır. Bunun nedeni, bu bölümde bulunan Beyşehir Gölünden yeraltısuyuna sızmanın fazla olmasıdır.

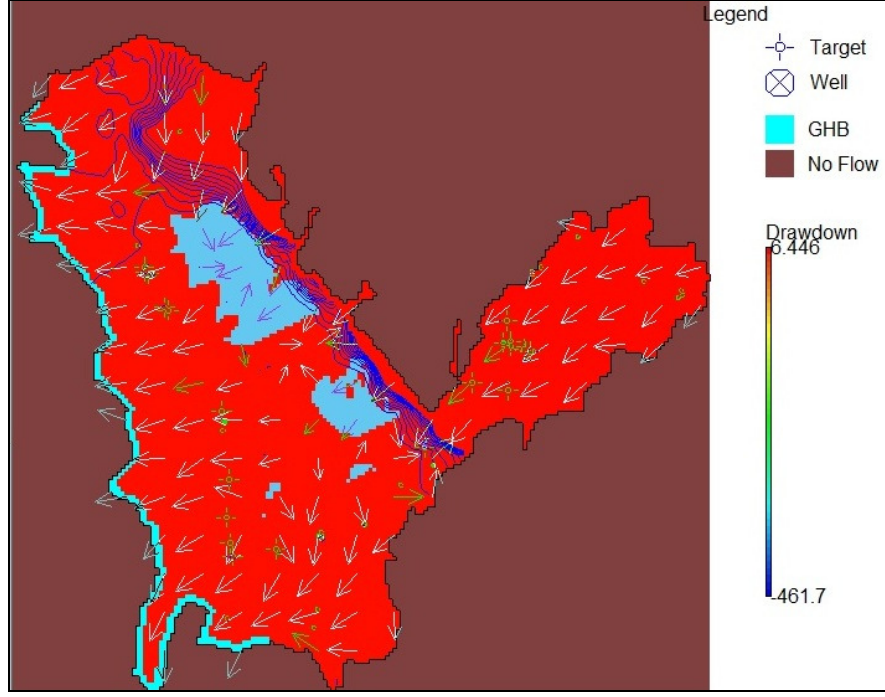


Şekil 4. 40.Modelde 2.tabakadaki kuyulardan %50 pompajın artırılması sonucu oluşan eş yeraltısuyu alçalma eğrisi



Şekil 4. 41. Modelde 3.tabakadaki kuyulardan %50 pompajın artırılması sonucu oluşan eş yeraltısuyu alçalma eğrisi





Şekil 4. 42. Modelde 4.tabakadaki kuyulardan %50 pompajın artırılması sonucu oluşan eş yeraltı suyu alçalma eğrisi

#### 4.8.4. İklim değişikliği senaryoları

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.

Uluslararası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) dördüncü değerlendirme raporunda, iklim değişikliğiyle ilgili dört ana senaryoda (A1, A2, B1, B2) 23 farklı küresel model için benzetim yapılmıştır. En iyimser ve en kötümser benzetimlere göre 2090–2099 yıllarındaki ortalama yüzey sıcaklığı, 1980–1999 yıllarına göre ortalama 1,1–6,4 °C artacağı ve yağışların ise yüksek enlemlerde azalacağı öngörülmüştür (IPCC, 2007).

Bu senaryolar, SRES'in (Special Report on Emissions Scenarios) oluşturduğu iklim senaryolarıdır. SRES, 2100 yılına kadar tahmini sıcaklık değişimlerini hesaplamıştır (Çizelge 4.9.).

A1 senaryosu (Dünya Pazar Senaryosu), gelecekte dünyada çok hızlı bir ekonomik büyüme, küresel nüfusun en yüksek seviyeye ulaştığını ve sonrasında azaldığını, yeni teknolojilerin hızlı bir giriş yaptığını varsaymıştır. A1 senaryosu, enerji sitemindeki teknolojik değişimin alternatif kısımları için 3 alt senaryoya ayrılmıştır. Bunlar; fosil ağırlıklı enerji kaynakları (A1FI), fosil olmayan enerji kaynakları (A1T) ve tüm enerji kaynakların dengede olduğu (A1B) senaryolardır. A2 (Ulusal Yatırım Senaryosu) senaryosuna göre; nüfusun sürekli artacağı, benzer bölgelerde verimliliğin azalacağı, ekonomik ve teknolojik gelişmelerin diğer senaryolara göre daha yavaş gelişeceği vurgulanmıştır. B1 senaryosu, küresel nüfus artışının A1 senaryosu gibi yüzyılın ortasında en yüksek düzeye ulaşmasını ve sonrasında azalmasını öngörmektedir. B2 senaryosu ile A2 senaryosundan daha az oranda artan nüfus, orta seviyede ekonomik gelişme olacağını, A1 ve B1 senaryolarına oranla daha az teknolojik gelişme olacağı belirtilmiştir.

Çizelge 4. 9. Sıcaklık değişimine göre iklim değişikliği senaryosu, SPM-3 (IPCC, 2007)

Olay	Sıcaklık Değişimi (2090–2099 yılları için 1980–1999 yıllarından kıyasla) (°C)	
	En iyi tahmin (°C)	Değişim aralığı (°C)
B1 Senaryosu	1,8	1,1 – 2,9
A1T Senaryosu	2,4	1,4 – 3,8
B2	2,4	1,4 – 3,8
A1B	2,8	1,7 – 4,4
A2	3,4	2,0 – 5,4
A1FI	4,0	2,4 – 6,4

İklim değişikliği senaryosu için bu çalışmada, Çizelge 4.9. da verilen B1, B2, A1FI, A2 senaryoları için simülasyonlar yapılmıştır. 2090–2099 yıllarına ait iklim değişiklikleri senaryo sonuçları 50 yıllık aralıklarla modeldeki buharlaşma değerinde artma, beslenme değerinde azalma şeklinde modele aktarılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. 2011 yılı için Beyşehir DMİ tarafından çalışma alanında ölçülen ortalama sıcaklık 10,38 °C olarak ölçülmüştür. Bu sıcaklık değeri üzerine hesaplanan sıcaklık değerleri 50 yıllık dönemler halinde kademeli olarak aktarılmıştır. Model yılı olan 2011 yılından 50 yıllık dönemler halinde 2100 yılına kadar hesaplanan sıcaklıklar Çizelge 4.10.'de görülmektedir.

Çizelge 4. 10. Farklı iklim senaryoları için yıllara göre tahmin edilen sıcaklık değişimleri (°C)

Yıllar	Senaryolar			
	A1F1	B2	B1	A2
2011	10,38	10,38	10,38	10,38
2050	11,94	11,08	11,32	11,71
2100	13,94	11,98	12,52	13,41

Bir bölgedeki bitkilerin su ihtiyacının belirlenmesi için Blaney-Criddle (1950), bitkinin cinsini hesaba katan potansiyel evapotranspirasyon formülleri geliştirmiştir.

$$U = 45 \times k \times p \times (t + 18) \quad (4.5.)$$

$$k = (0,031 \times t + 0,24) \times k_c \quad (4.6.)$$

Denklem 4.5. ve 4.6. daki, U; aylık evapotranspirasyon (mm), k; bitkilerin su ihtiyacını belirlemede terleme kayıplarını hesaplamak için kullanılan değer (aylık),  $k_c$ ; bitkinin cinsine göre büyüme oranına ekimden sonra geçen gün sayısına, ya da yılın aylarına bağlı katsayı, t; aylık ortalama sıcaklık derecesi (°C), p; ise göz önüne alınan aydaki gündüz saatlerinin bütün yıldaki gündüz saatlerine oranıdır.

Bu çalışmada Blaney-Criddle formülüne göre bitki su ihtiyacını tespit edilmek için senaryolarda hesaplanan sıcaklık artışlarının bitki su ihtiyacını ne kadar artıracığı hesaplanmıştır. Bitki su ihtiyacı hesaplanmasında küresel ısınmanın etkileri incelendiği için 2100 yılında aynı bitkilerin tarımının yapılacağı düşünülmüş ve Denklem 4.6.'da  $k_c$  birim değer alınmıştır. Hesaplama sıcaklık artış yüzdesi incelendiği için birim değer formülde etkisiz halde kalmıştır. Yukarıdaki dört senaryo için hesaplanan sıcaklık değerleri Blaney-Criddle formülünde yerine konulursa ve elde edilen potansiyel evapotranspirasyon sonuçları Beyşehir Havzası için 2011 yılına ait mevcut potansiyel evapotranspirasyon sonuçlarına bölünürse Çizelge 4.11.'deki potansiyel evapotranspirasyon yüzde artış değerleri elde edilir.

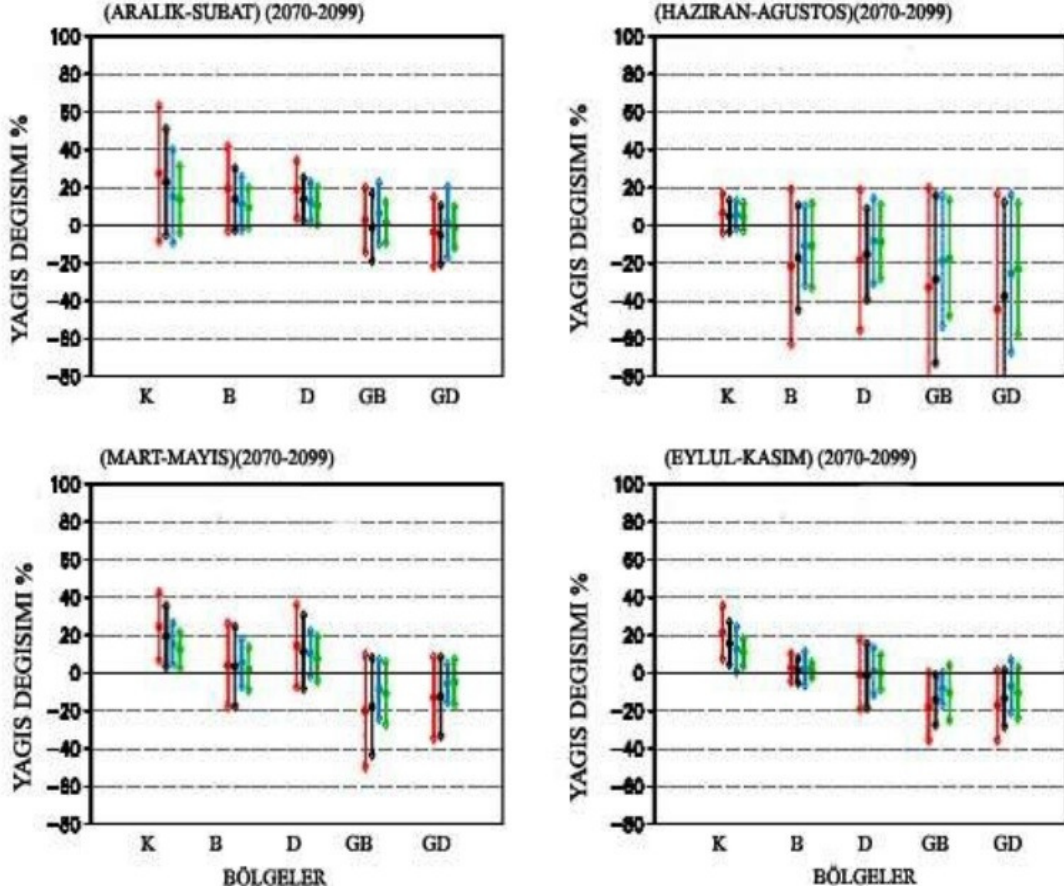
Çizelge 4. 11. Blaney-Criddle'a göre hesaplanan potansiyel evapotranspirasyon artış yüzdesi (pompajdaki artış yüzdesi)

Yıllar	Senaryolar			
	A1F1	B2	B1	A2
2011	1	1	1	1
2050	1,14	1,12	1,09	1,06
2100	1,32	1,27	1,20	1,14

2100 yılına kadar sıcaklık artışı ile potansiyel evapotranspirasyon miktarındaki artış da beklenmektedir. Potansiyel evapotranspirasyon miktarındaki artışa göre, aynı oranda tarım için ihtiyaç duyulacak yeraltısuyu miktarı da artmalıdır. Çizelge 4.11.'de 50 yıllık dönemler için hesaplanan pompaj miktarındaki artış yüzdeleri verilmiştir.

Avrupa'nın beş alt bölgesi (K, B, D, GB, GD) için üç aylık dönemlerde yağış değişimleri Şekil 4.43.'de verilmiştir. Şekil 4.43.'de görülen kırmızı renk A1FI, siyah renk A2, mavi renk B2, yeşil renk B1 senaryolarını ifade etmektedir. Şekilde görülen çubuk uzunlukların orta noktası ortalama yağış değişimini, alt tarafı minimum yağış değişimini, üst tarafı da maksimum yağış değişimini göstermektedir.

Şekil 4.43.'de ki senaryolar için yağış değişim yüzdeleri okunarak 2011 yılı mayıs ayı için ortalama yağış miktarı ile değişim yüzdeleri çarpılmıştır. Bunun sonucunda dört senaryo ile 2100 yılına kadar yağış değişimleri hesaplanmıştır. Hesaplanmış yağış değişim yüzdeleri 50 yıllık dönemlerde Çizelge 4.12.'de görülmektedir.



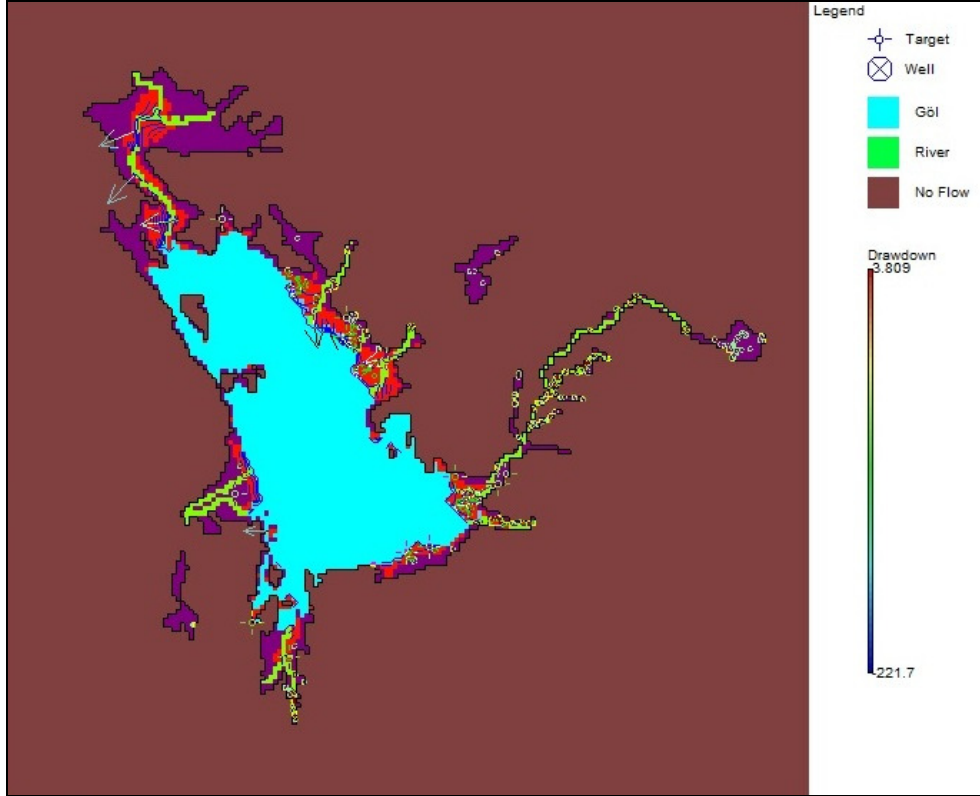
Şekil 4. 43. A1F1, A2, B1, B2 senaryoları için Avrupa'nın farklı bölgelerindeki yağış değişimleri (Ruosteenoja et al., 2007)

Çizelge 4. 12. Dört farklı senaryo için hesaplanan yağış değişim yüzdeleri

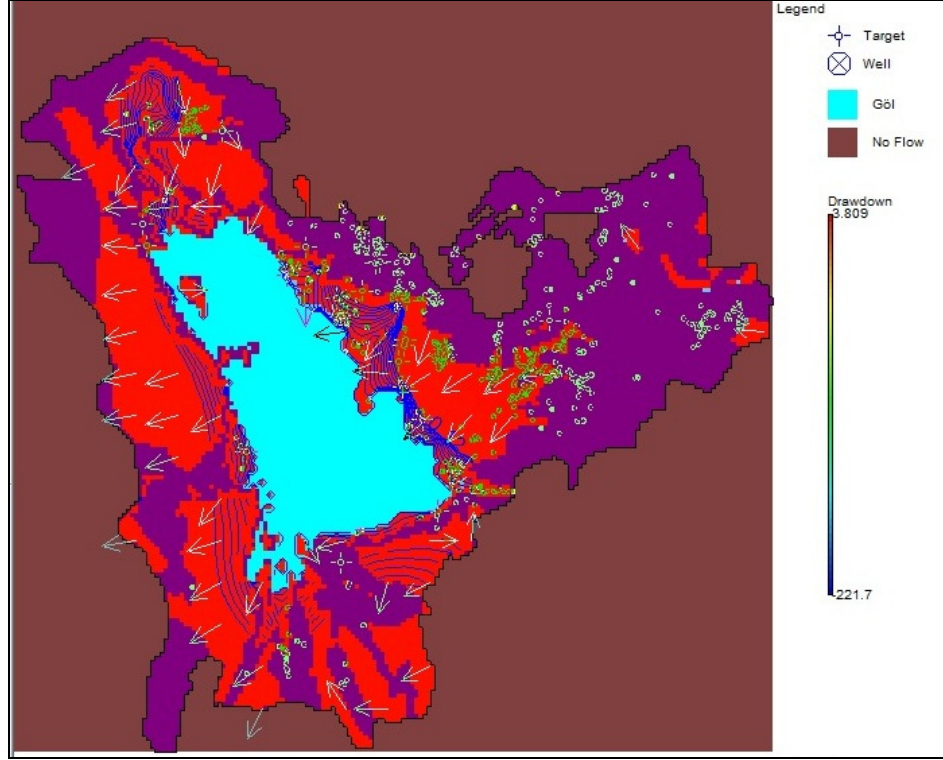
Yıllar	Senaryolar			
	A1F1	B2	B1	A2
2011	0	0	0	0
2050	-4,98	-2,54	-1,47	-4,46
2100	-11,37	-5,80	-3,35	-10,18

Çizelge 4.12.'da yağış değişimlerinin 50 ve 100 yıllık zaman dilimlerinde azaldığı görülmektedir. MODFLOW programı ile dört senaryo için 2050–2100 yıllarındaki pompaj miktarındaki artış ve yağış değişimindeki azalış miktarları modele yansıtılarak çalışma alanındaki yeraltısuyu seviye alçalma değişimleri izlenmiştir. Modelde her üç tabakadaki dört farklı senaryo için yeraltısuyu alçalma değişimleri Şekil 4.44-4.75.'de görülmektedir.

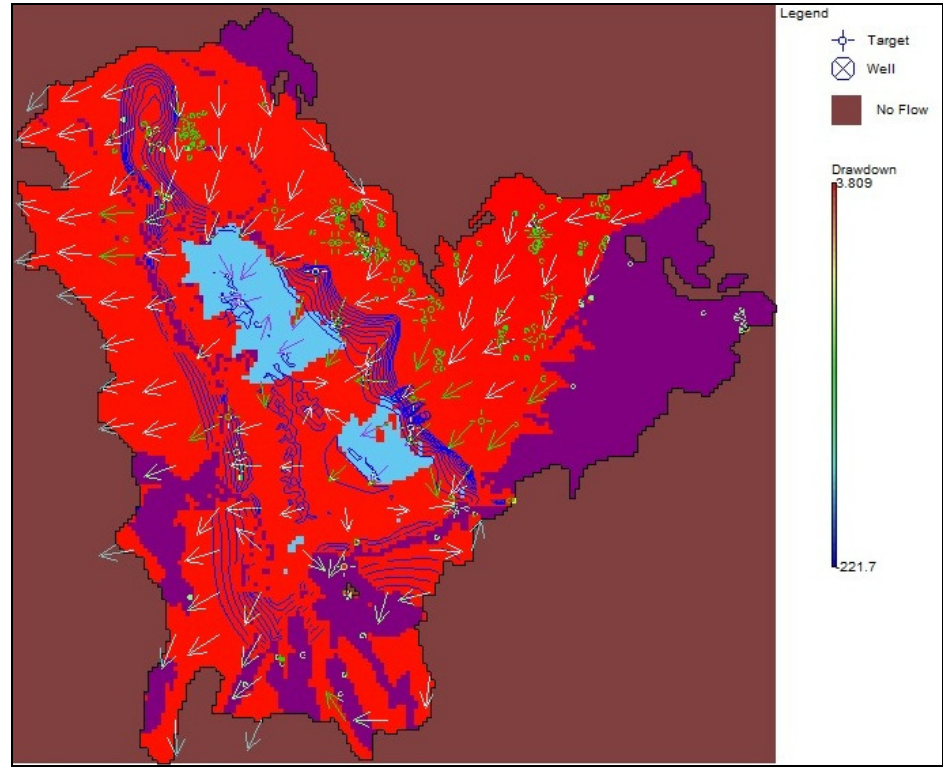
Şekil 4.44-4.47.'de görülen 2050 yılı için A1FI senaryosu için 1.tabakadaki yeraltısu alçalması 3.81 m ve daha fazla olarak gerçekleşmektedir. Model kararlı akım hali için çalıştığı için 2050 yılına kadar devamlı olarak kuyulardan su çekilmiştir. Modelde %14 oranında pompaj artışı ve sıcaklık artışına bağlı olarak %4,98 oranında yağışta meydana gelen azalma sonucunda akifer alanında 2011 yılına göre daha fazla alan kurumuştur.



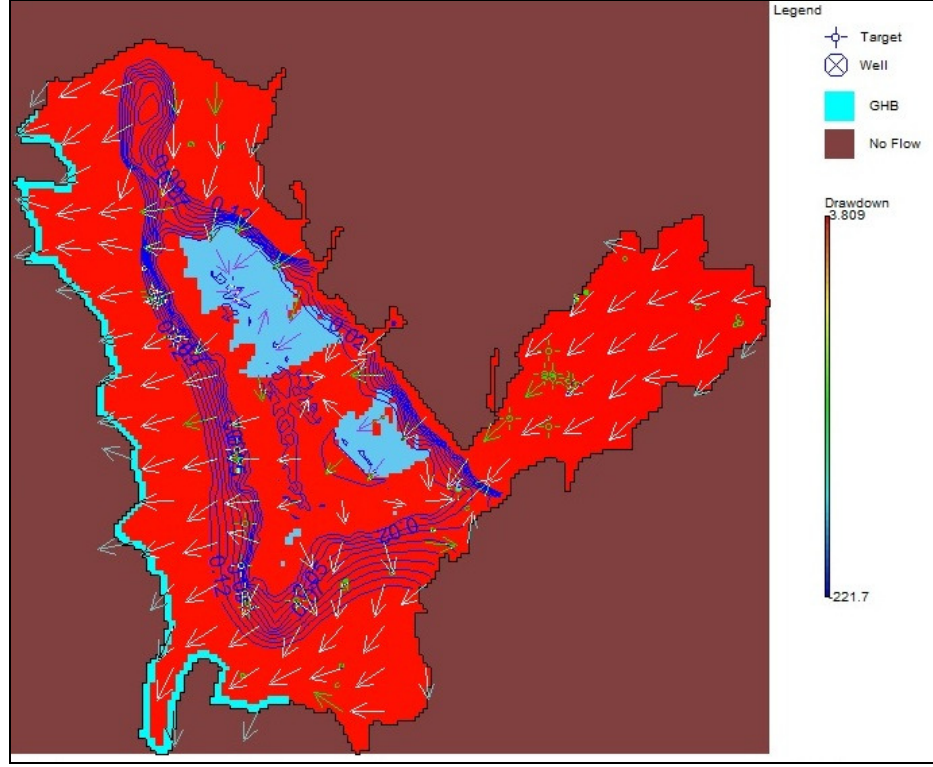
Şekil 4. 44. 2050 yılı için A1FI senaryosunun 1.tabaka için eş yeraltısu alçalma eğrisi



Şekil 4. 45. 2050 yılı için A1FI senaryosunun 2.tabaka için eş yeraltısuyu alçalma eğrisi



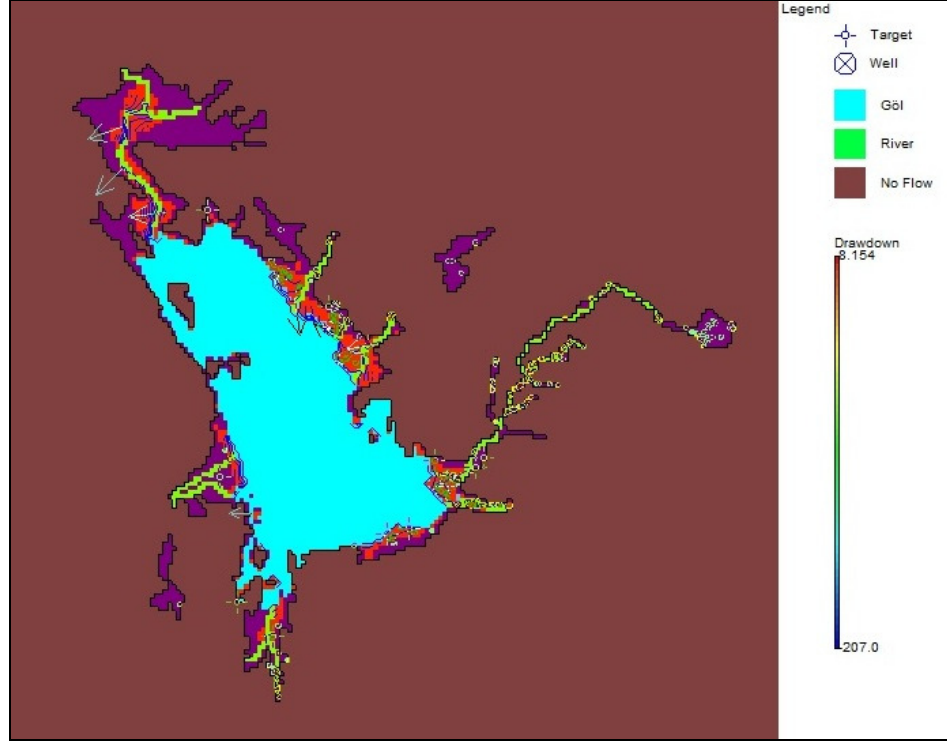
Şekil 4. 46. 2050 yılı için A1FI senaryosunun 3.tabaka için eş yeraltısuyu alçalma eğrisi



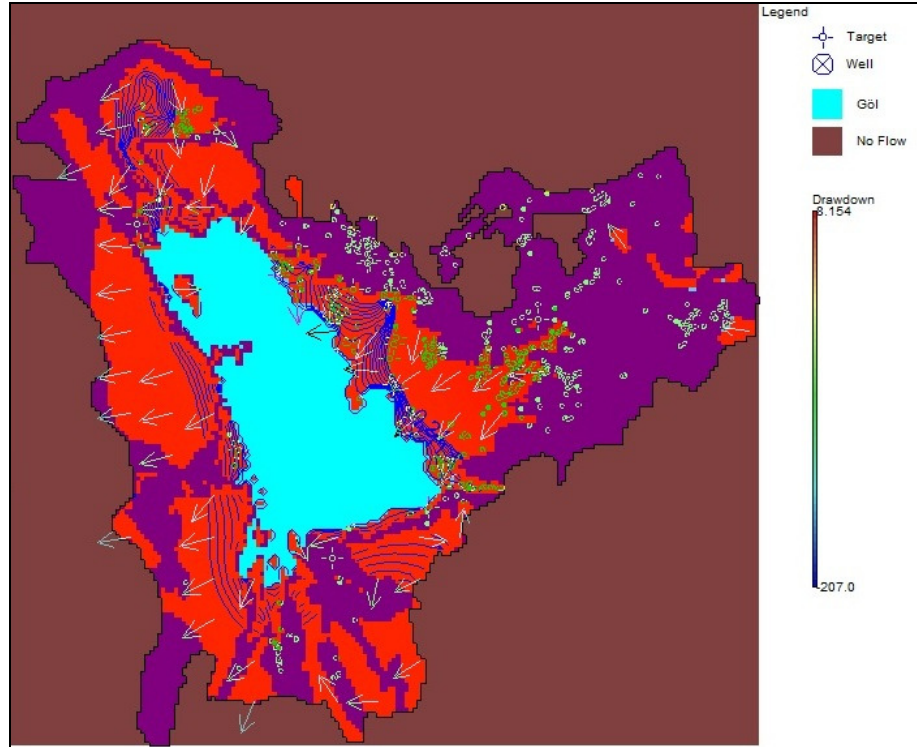
Şekil 4. 47. 2050 yılı için A1FI senaryosunun 4.tabaka için eş yeraltısuyu alçalma eğrisi

Şekil 4.48-4.51.'de görülen 2100 yılı için A1FI senaryosu için 1.tabakadaki yeraltısuyu alçalması 8 m ve daha fazla olarak gerçekleşmektedir. Model kararlı akım hali için çalıştığı için 2100 yılına kadar devamlı olarak kuyulardan su çekilmiştir. Modelde %32 oranında pompaj artışı ve sıcaklık artışına bağlı olarak %11,37 oranında yağışta meydana gelen azalma sonucunda akifer alanında 2011 yılına göre daha fazla alan kurumuştur.

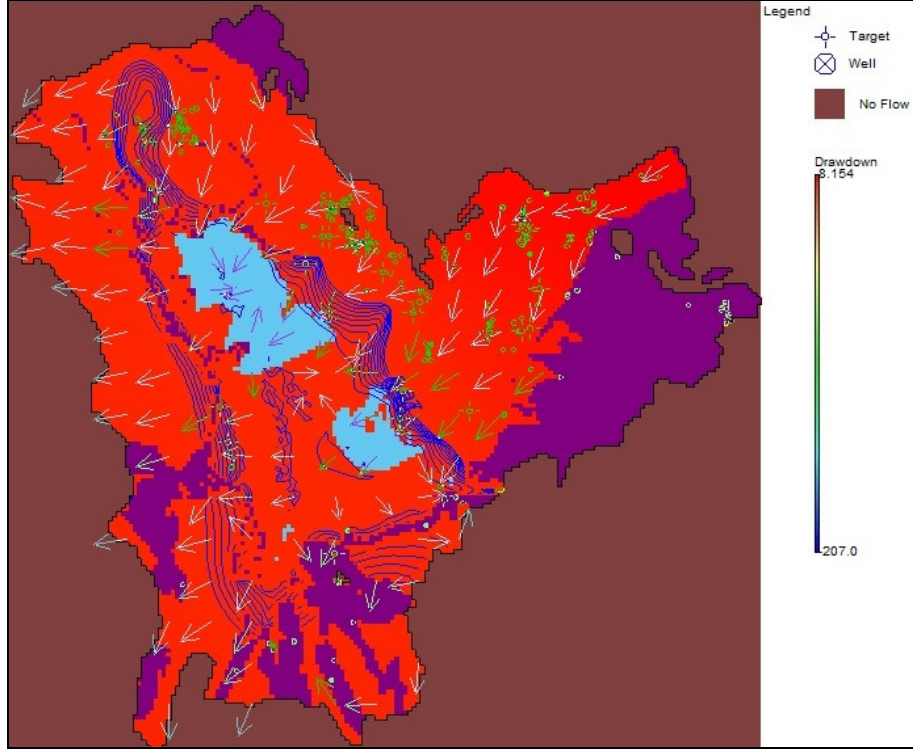




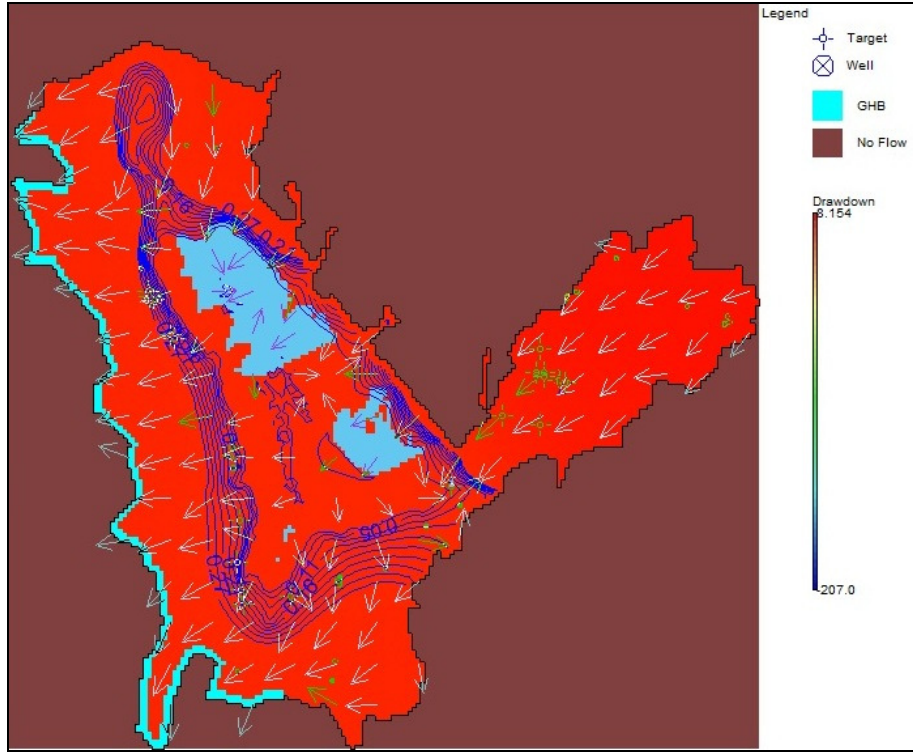
Şekil 4. 48. 2100 yılı için A1FI senaryosunun 1.tabaka için eş yeraltısuyu alçalma eğrisi



Şekil 4. 49. 2100 yılı için A1FI senaryosunun 2.tabaka için eş yeraltısuyu alçalma eğrisi

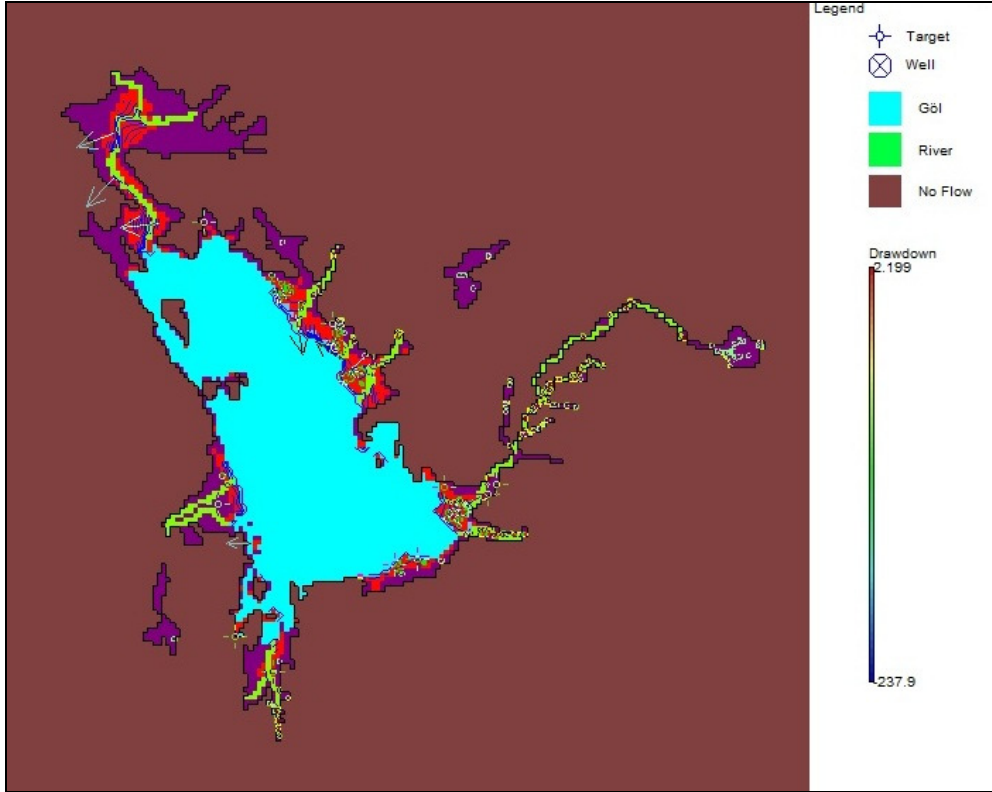


Şekil 4. 50. 2100 yılı için A1FI senaryosunun 3.tabaka için eş yeraltı suyu alçalma eğrisi

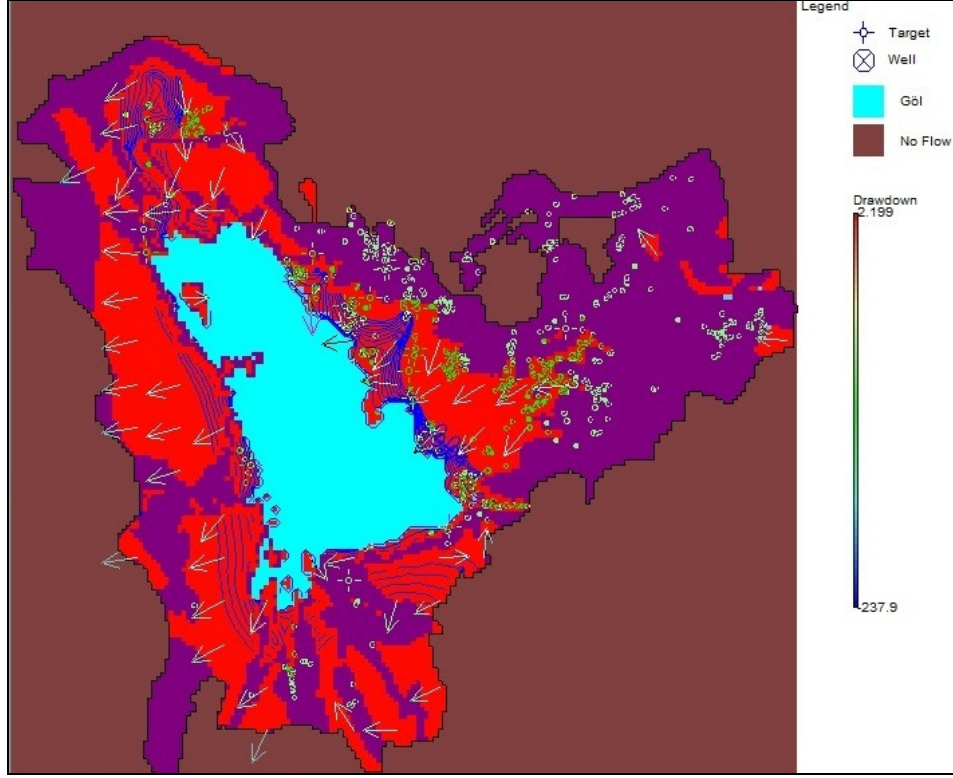


Şekil 4. 51.2100 yılı için A1FI senaryosunun 4. tabaka için eş yeraltı suyu alçalma eğrisi

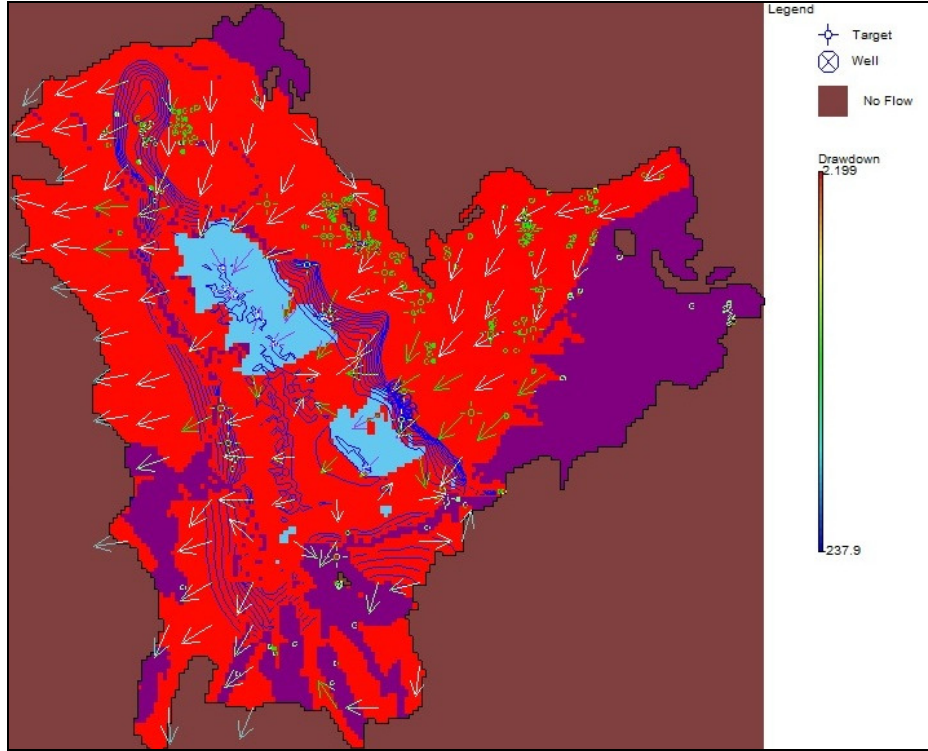
Şekil 4.52-4.55.'de görülen 2050 yılı için B1 senaryosu için 1.tabakadaki yeraltısuyu alçalması 2 m ve daha fazla olarak gerçekleşmektedir. Model kararlı akım hali için çalıştığı için 2100 yılına kadar devamlı olarak kuyulardan su çekilmiştir. Modelde %12 oranında pompaj artışı ve sıcaklık artışına bağlı olarak %2,54 oranında yağışta meydana gelen azalma sonucunda akifer alanında 2011 yılına göre daha fazla alan kurumuştur.



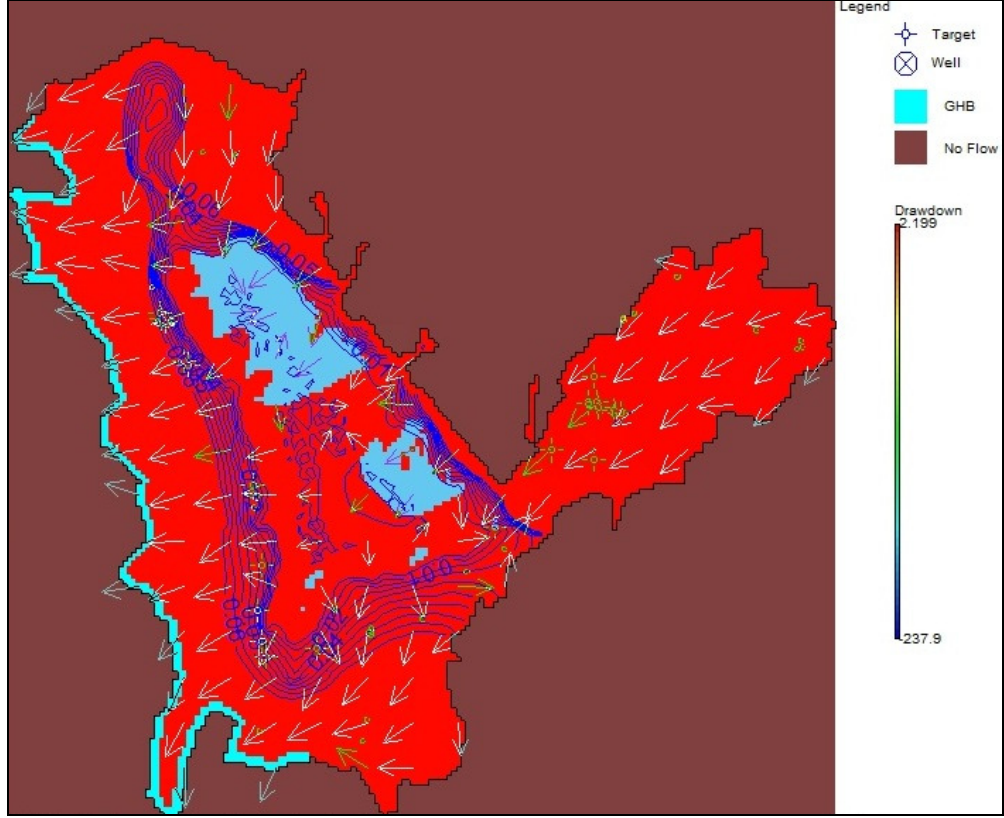
Şekil 4. 52.2050 yılı için B1 senaryosunun 1. tabaka için eş yeraltısuyu alçalma eğrisi



Şekil 4. 53.2050 yılı için B1 senaryosunun 2. tabaka için eş yeraltısuyu alçalma eğrisi

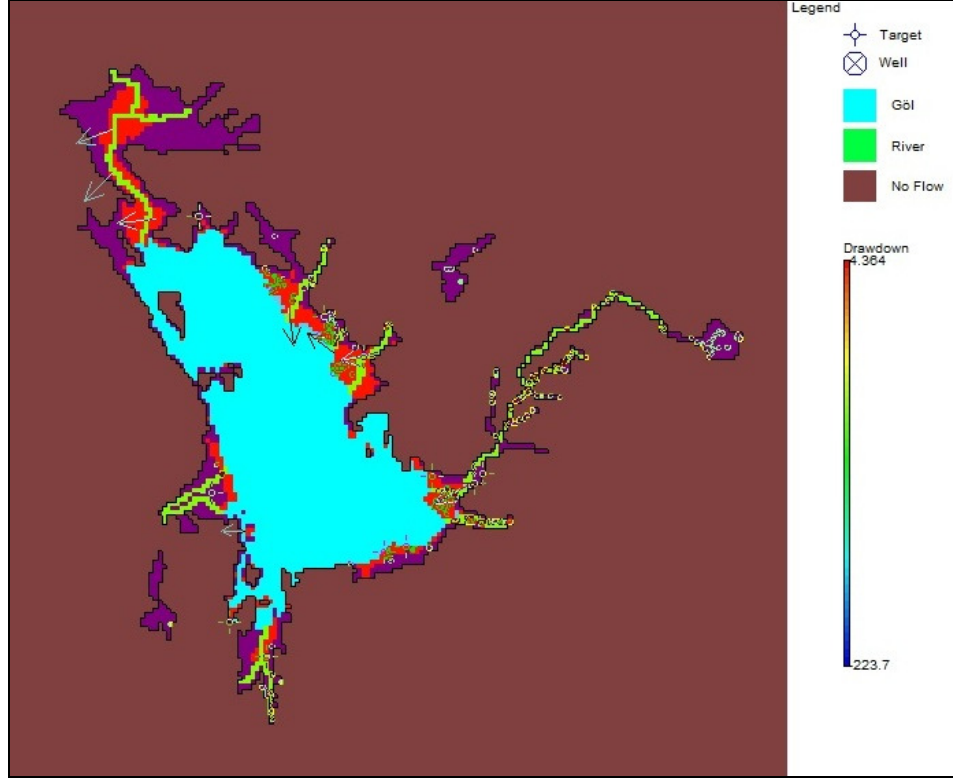


Şekil 4. 54.2050 yılı için B1 senaryosunun 3. tabaka için eş yeraltısuyu alçalma eğrisi

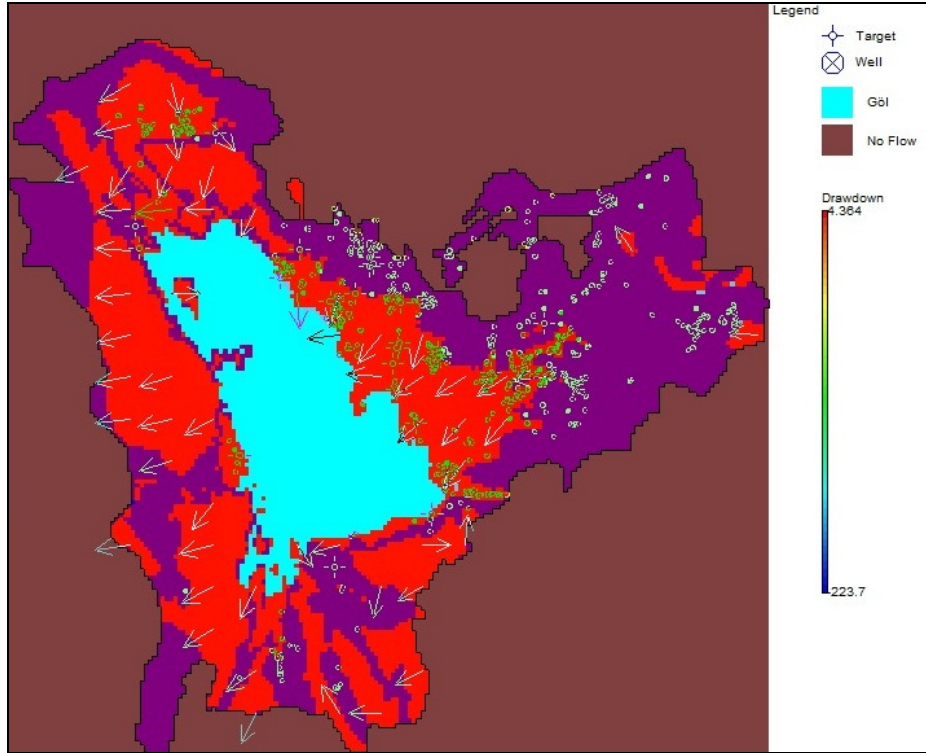


Şekil 4. 55.2050 yılı için B1 senaryosunun 4. tabaka için eş yeraltısu alçalma eğrisi

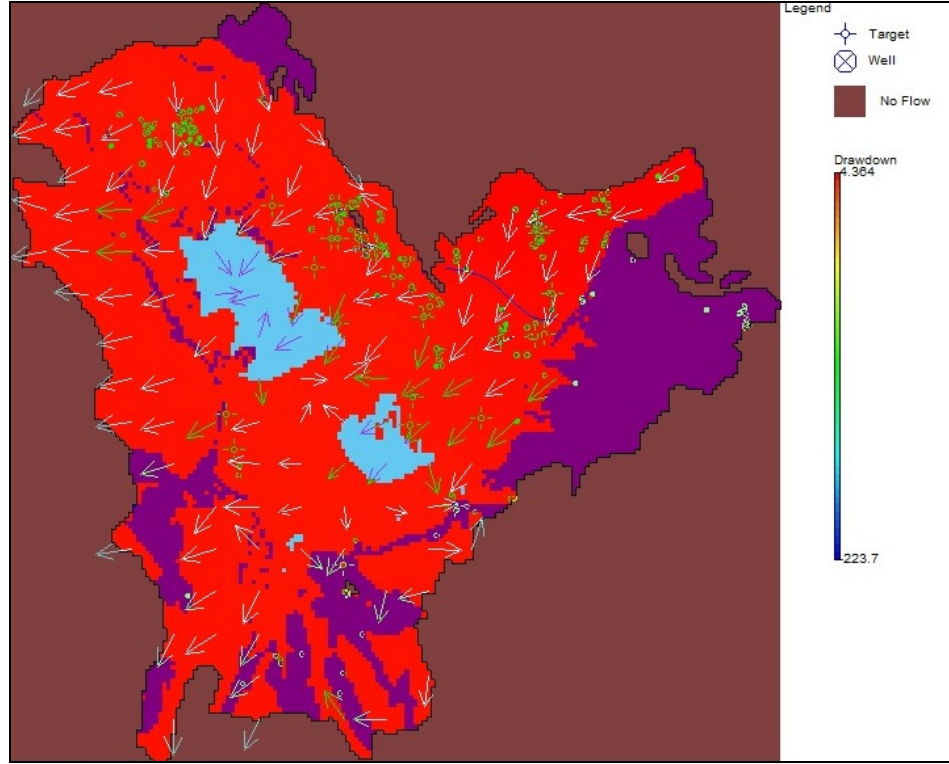
Şekil 4.56-4.59.'de görülen 2100 yılı için B1 senaryosu için 1.tabakadaki yeraltısu alçalması 4 m ve daha fazla olarak gerçekleşmektedir. Model kararlı akım hali için çalıştığı için 2100 yılına kadar devamlı olarak kuyulardan su çekilmiştir. Modelde %27 oranında pompaj artışı ve sıcaklık artışına bağlı olarak %5,80 oranında yağışta meydana gelen azalma sonucunda akifer alanında 2011 yılına göre daha fazla alan kurumuştur.



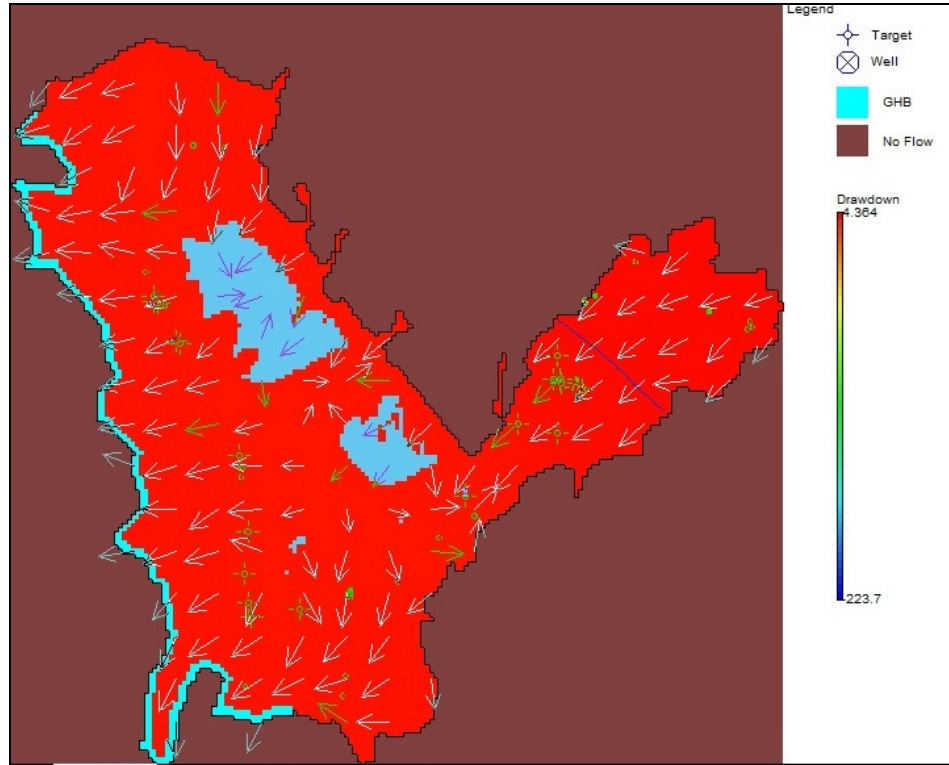
Şekil 4. 56.2100 yılı için B1 senaryosunun 1. tabaka için eş yeraltısıyu alçalma eğrisi



Şekil 4. 57.2100 yılı için B1 senaryosunun 2. tabaka için eş yeraltısıyu alçalma eğrisi

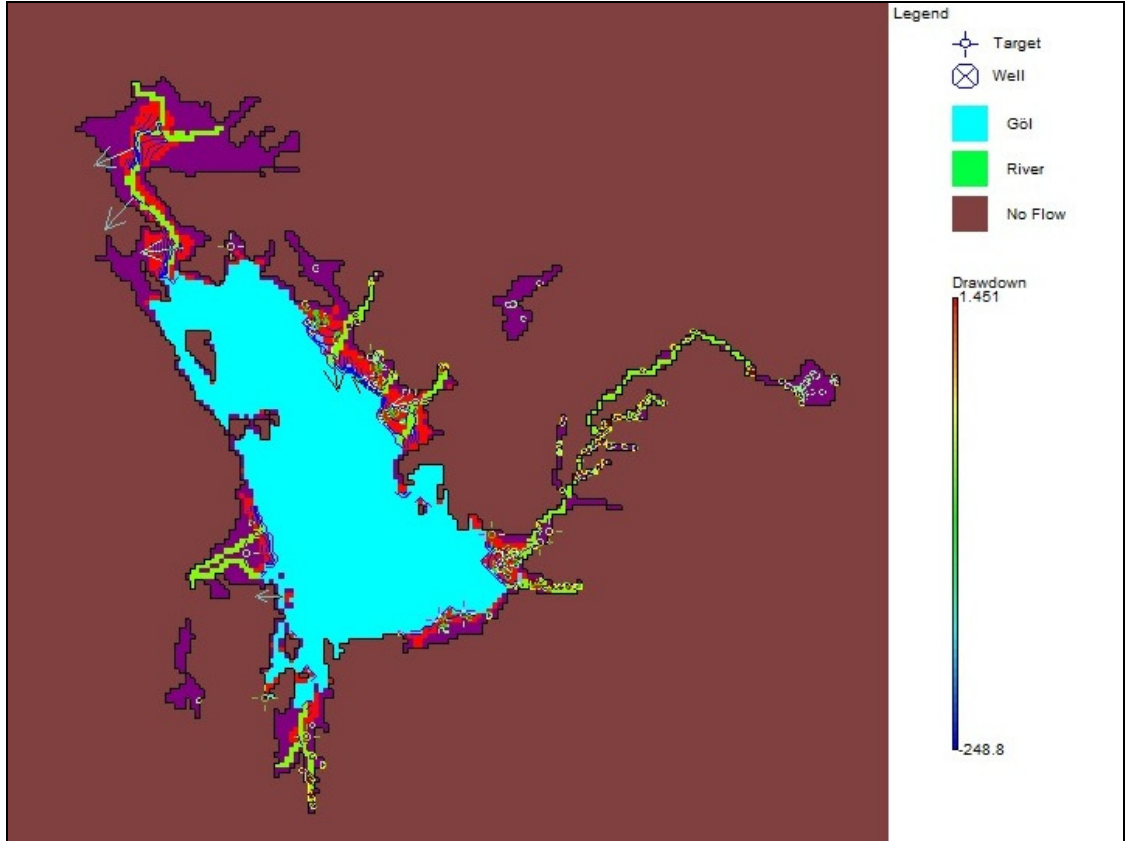


Şekil 4. 58.2100 yılı için B1 senaryosunun 3. tabaka için eş yeraltısuyu alçalma eğrisi



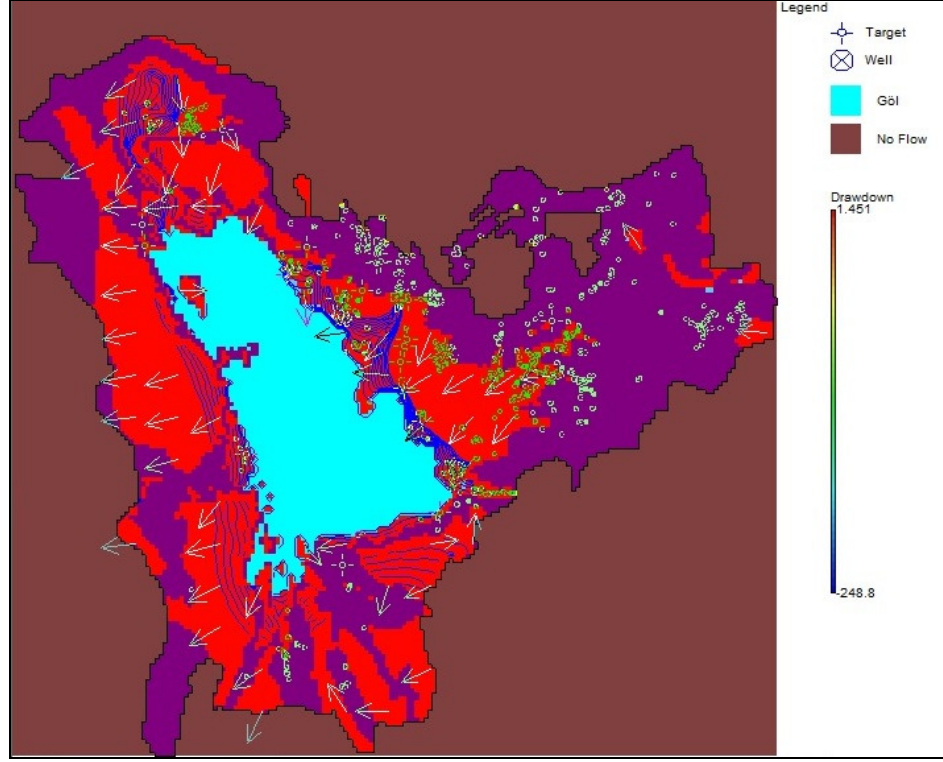
Şekil 4. 59.2100 yılı için B1 senaryosunun 4. tabaka için eş yeraltısuyu alçalma eğrisi

Şekil 4.60-4.63.'de görülen 2050 yılı için B2 senaryosu için 1.tabakadaki yeraltısuyu alçalması 1.45 m ve daha fazla olarak gerçekleşmektedir. Model kararlı akım hali için çalıştığı için 2100 yılına kadar devamlı olarak kuyulardan su çekilmiştir. Modelde %9 oranında pompaj artışı ve sıcaklık artışına bağlı olarak %1,47 oranında yağışta meydana gelen azalma sonucunda akifer alanında 2011 yılına göre daha fazla alan kurumuştur.

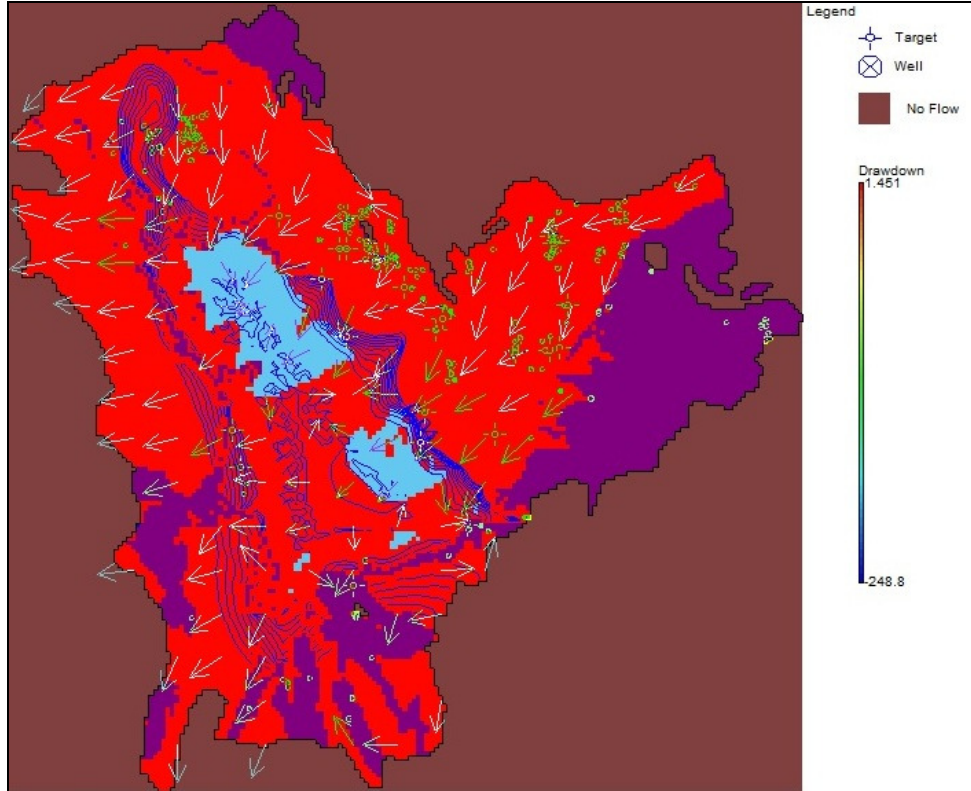


Şekil 4. 60.2050 yılı için B2 senaryosunun 1. tabaka için eş yeraltısuyu alçalma eğrisi

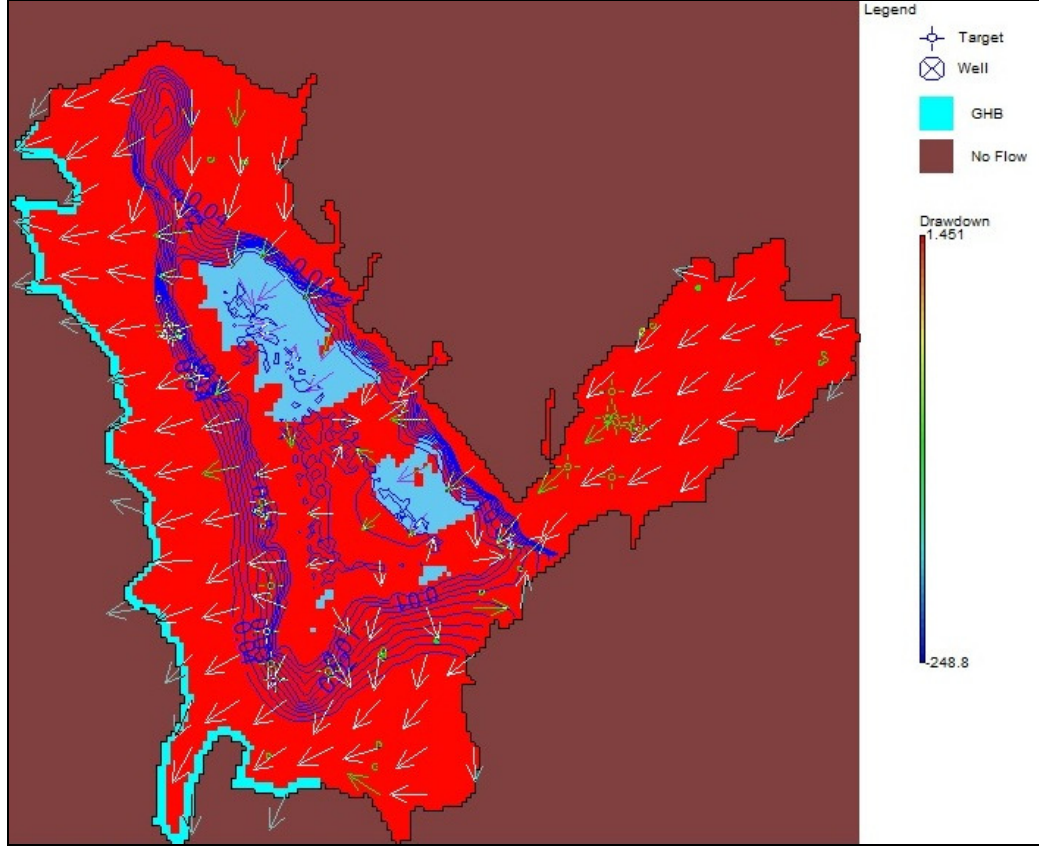




Şekil 4. 61. 2050 yılı için B2 senaryosunun 2.tabaka için eş yeraltısuyu alçalma eğrisi

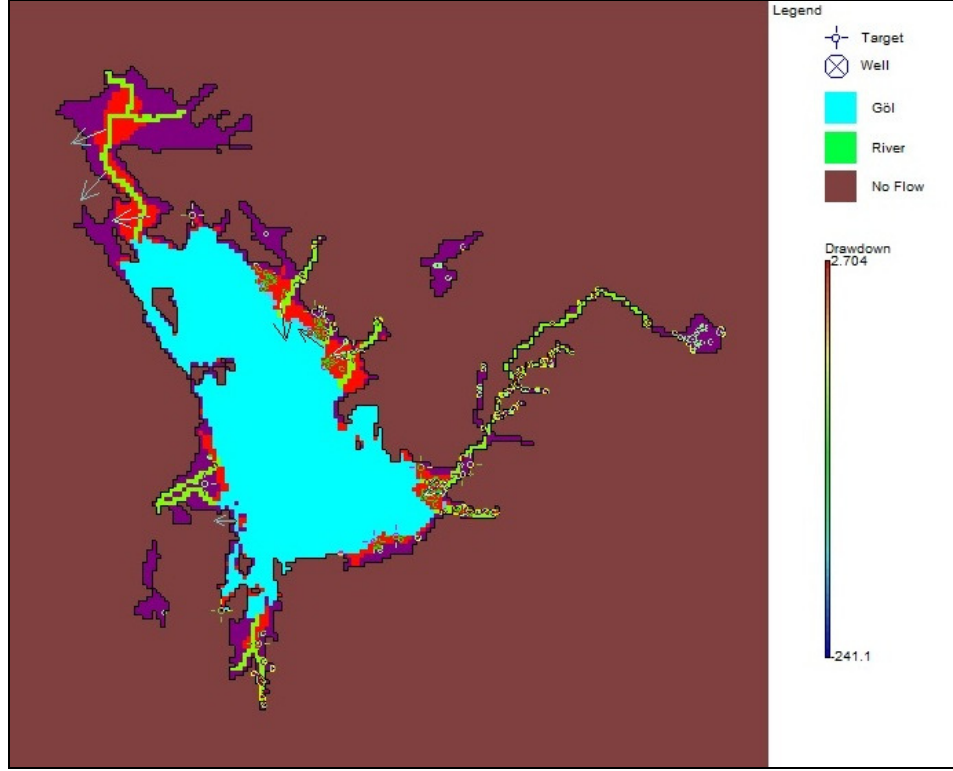


Şekil 4. 62.2050 yılı için B2 senaryosunun 3. tabaka için eş yeraltısuyu alçalma eğrisi

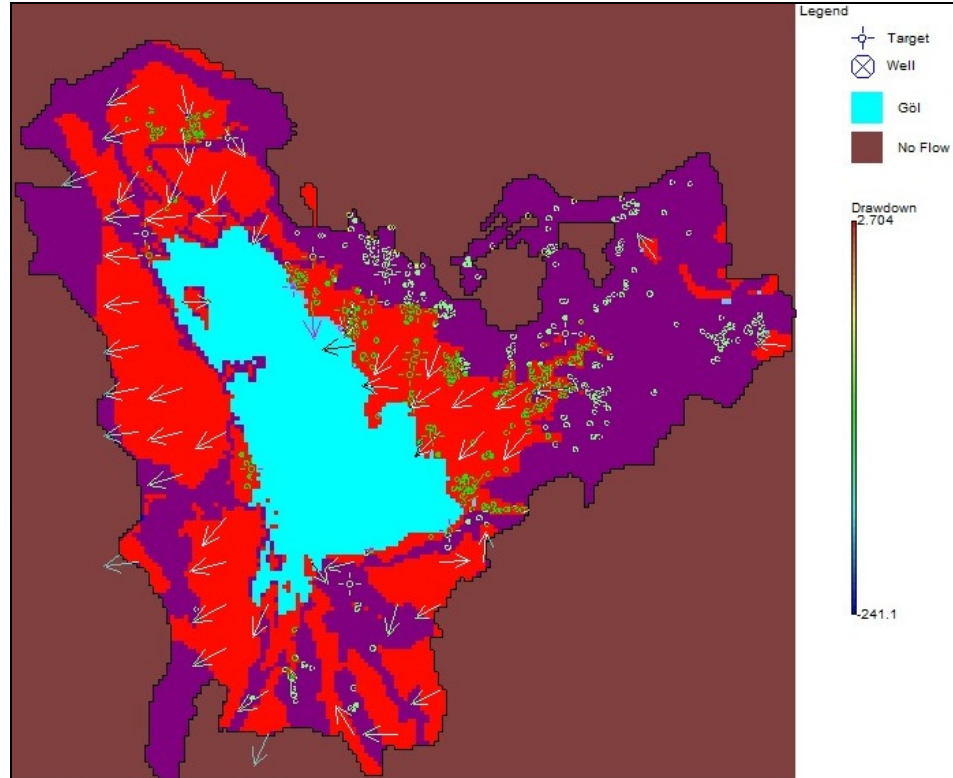


Şekil 4. 63.2050 yılı için B2 senaryosunun 4. tabaka için eş yeraltısuyu alçalma eğrisi

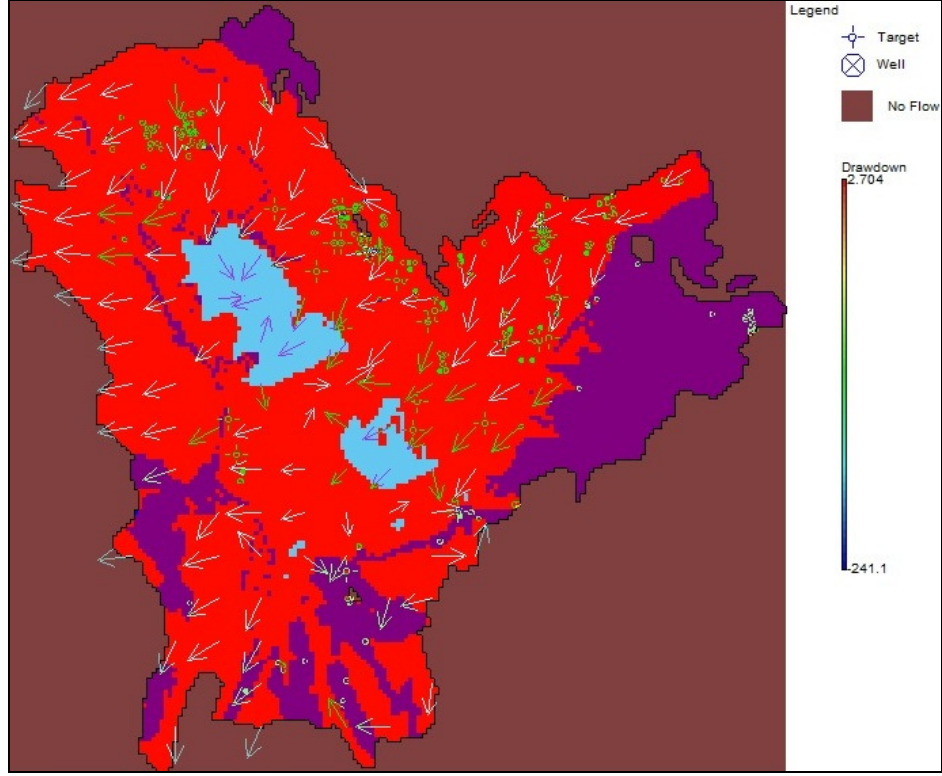
Şekil 4.64-4.67.'de görülen 2100 yılı için B2 senaryosu için 1.tabakadaki yeraltısuyu alçalması 4 m. ve daha fazla değişmektedir. Model kararlı akım hali için çalıştığı için 2100 yılına kadar devamlı olarak kuyulardan su çekilmiştir. Modelde %20 oranında pompaj artışı ve sıcaklık artışına bağlı olarak %3,35 oranında yağışta meydana gelen azalma sonucunda akifer alanında 2011 yılına göre daha fazla alan kurumuştur.



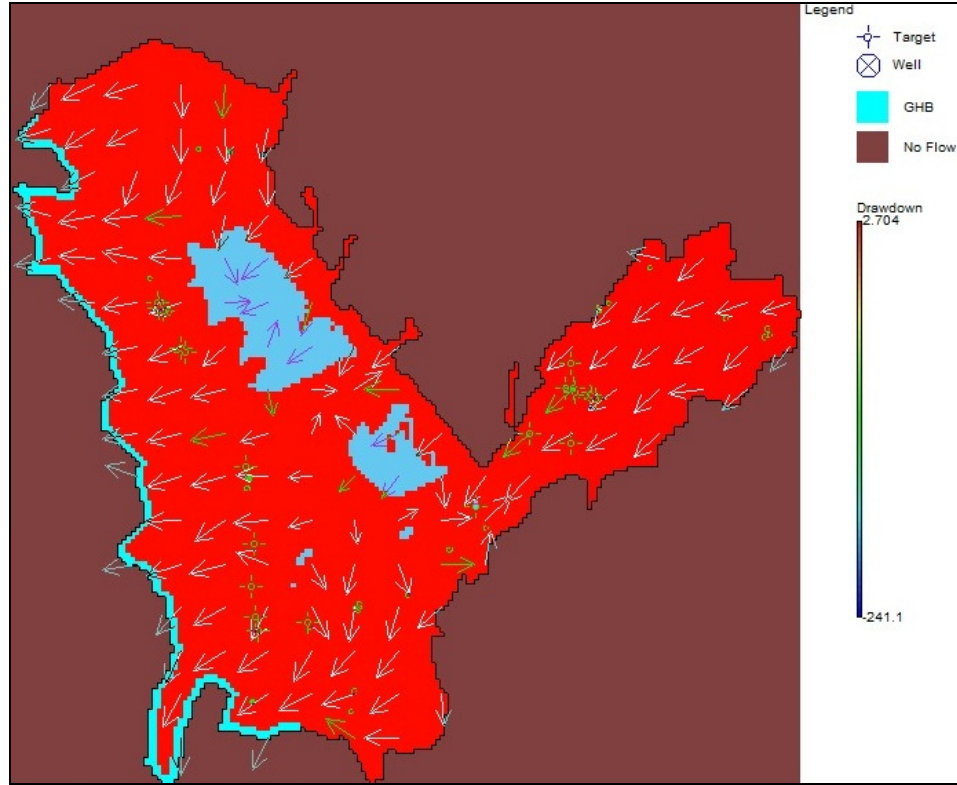
Şekil 4. 64.2100 yılı için B2 senaryosunun 1. tabaka için eş yeraltısuyu alçalma eğrisi



Şekil 4. 65.2100 yılı için B2 senaryosunun 2. tabaka için eş yeraltısuyu alçalma eğrisi

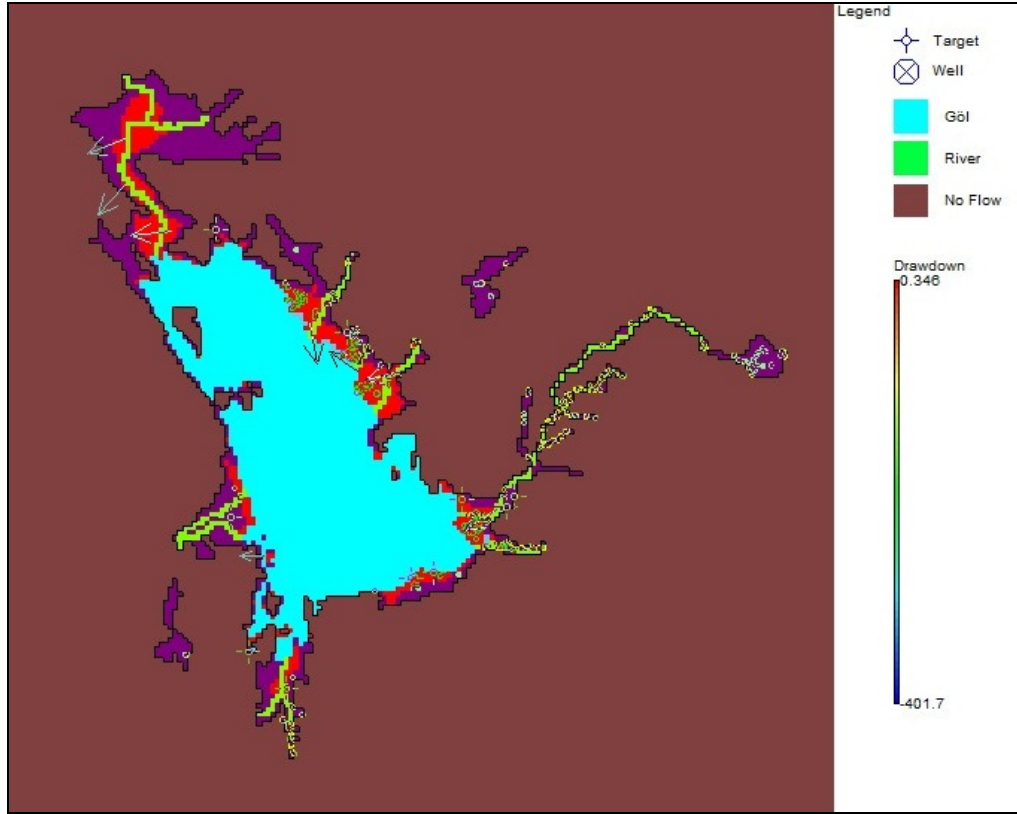


Şekil 4. 66.2100 yılı için B2 senaryosunun 3. tabaka için eş yeraltı suyu alçalma eğrisi

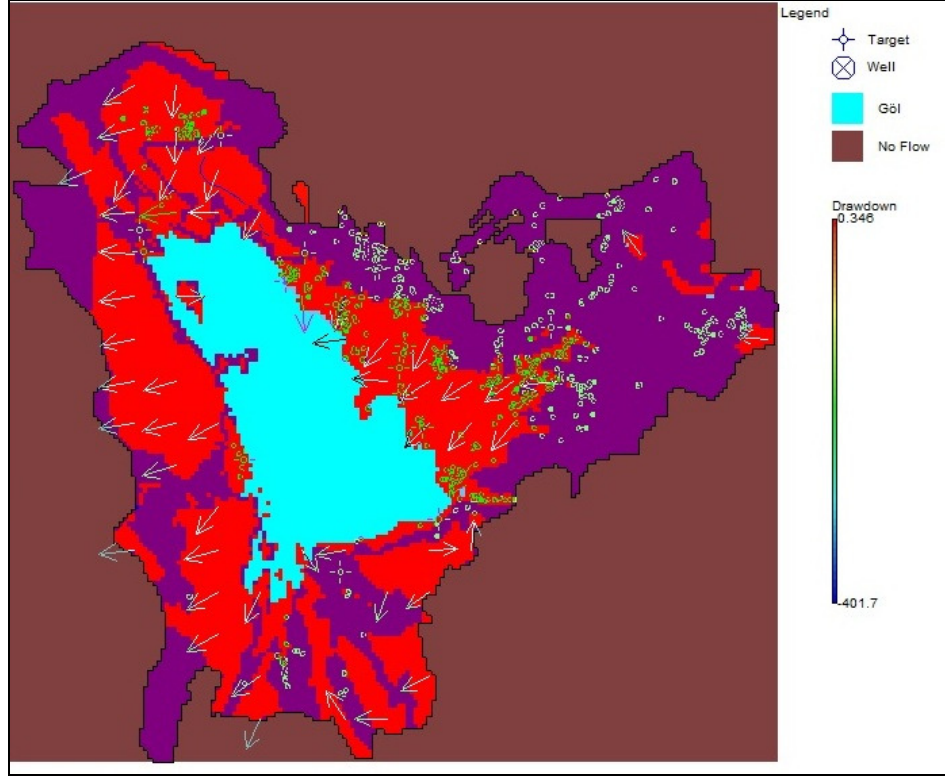


Şekil 4. 67.2100 yılı için B2 senaryosunun 4. tabaka için eş yeraltı suyu alçalma eğrisi

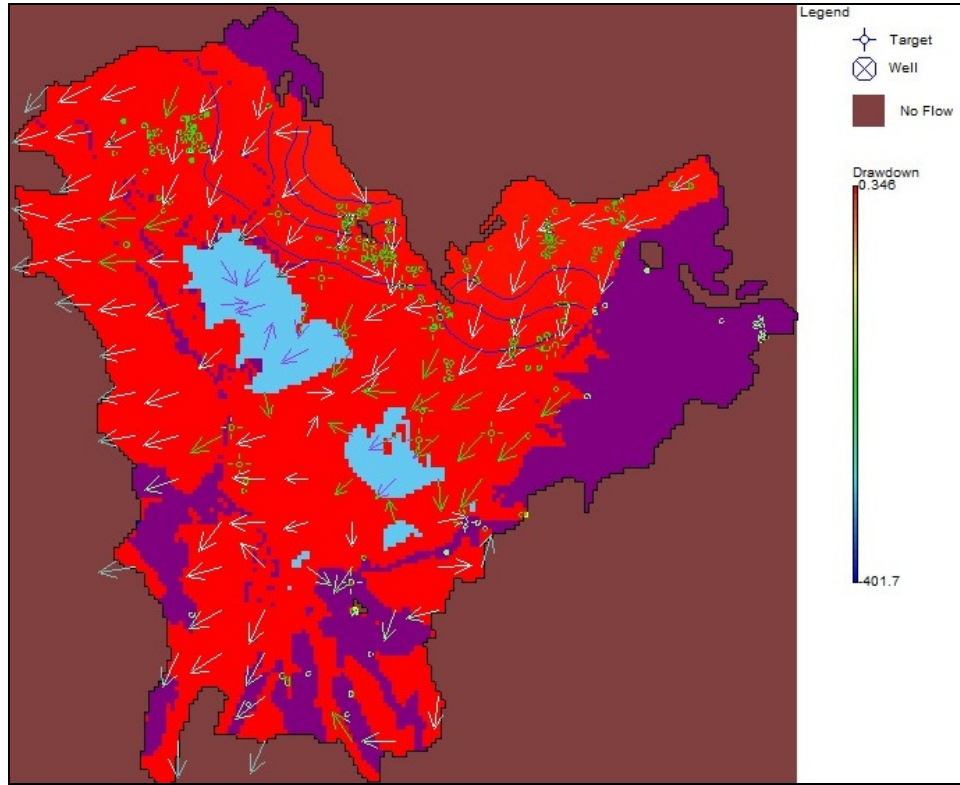
Şekil 4.68-4.71.'de görülen 2050 yılı için A2 senaryosu için 1.tabakadaki yeraltısuyu alçalması 4 m. ve daha fazla değişmektedir. Model kararlı akım hali için çalıştığı için 2100 yılına kadar devamlı olarak kuyulardan su çekilmiştir. Modelde %6 oranında pompaj artışı ve sıcaklık artışına bağlı olarak %4,46 oranında yağışta meydana gelen azalma sonucunda akifer alanında 2011 yılına göre daha fazla alan kurumuştur.



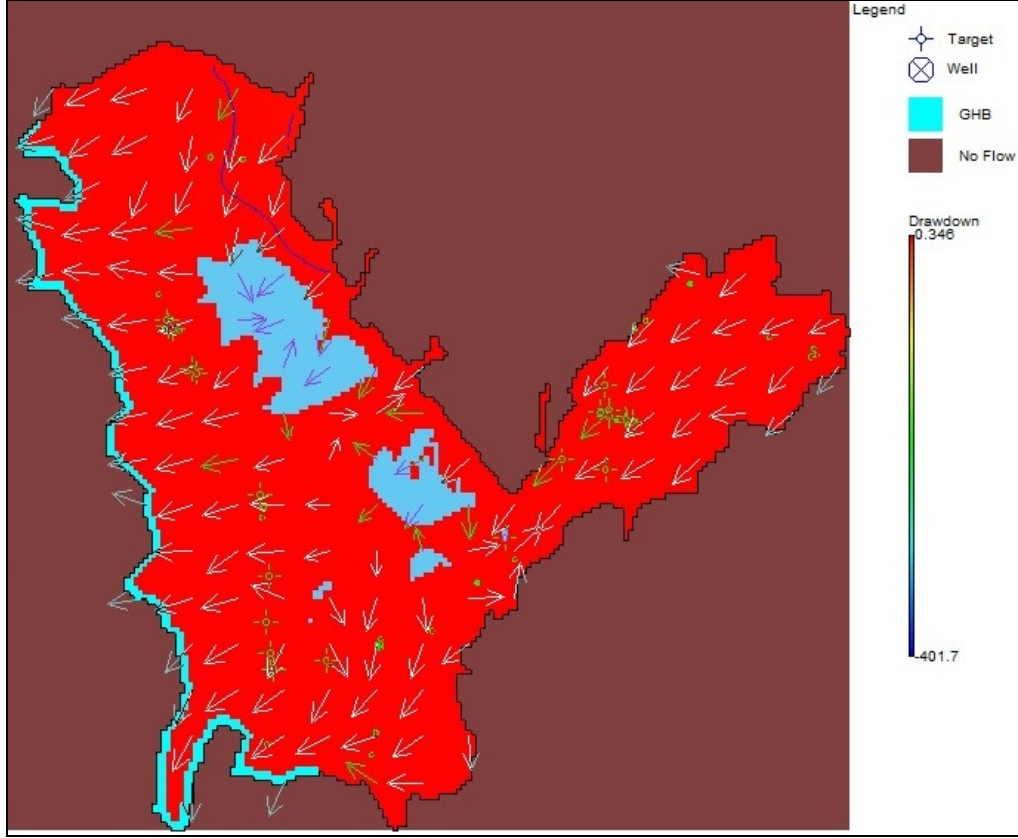
Şekil 4. 68.2050 yılı için A2 senaryosunun 1. tabaka için eş yeraltısuyu alçalma eğrisi



Şekil 4. 69.2050 yılı için A2 senaryosunun 2. tabaka için eş yeraltı suyu alçalma eğrisi

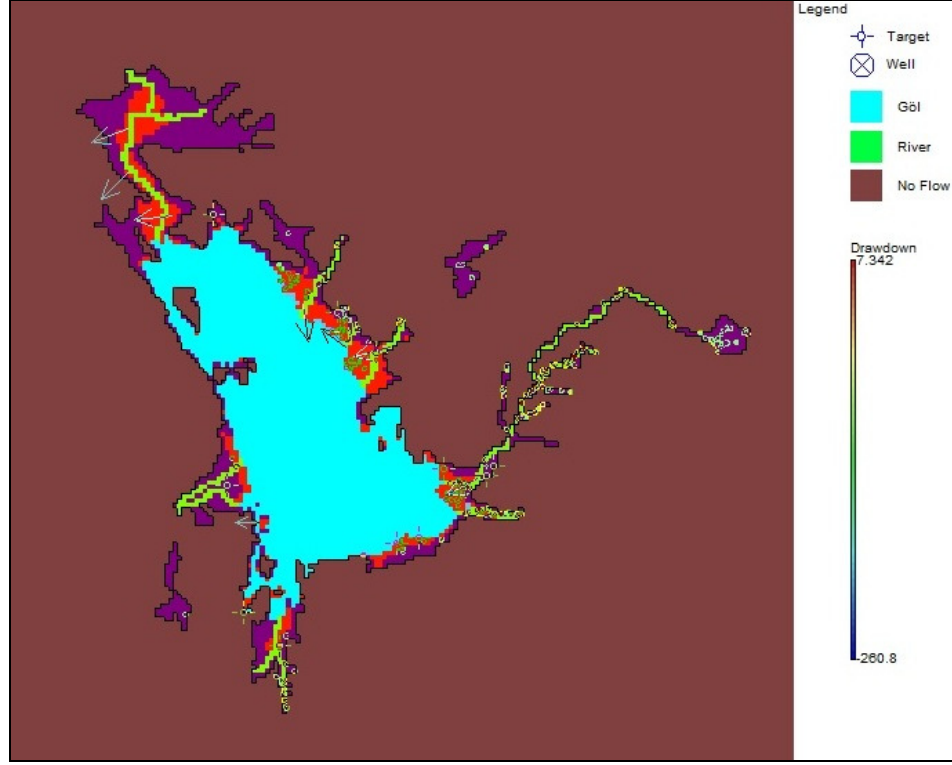


Şekil 4. 70.2050 yılı için A2 senaryosunun 3. tabaka için eş yeraltı suyu alçalma eğrisi

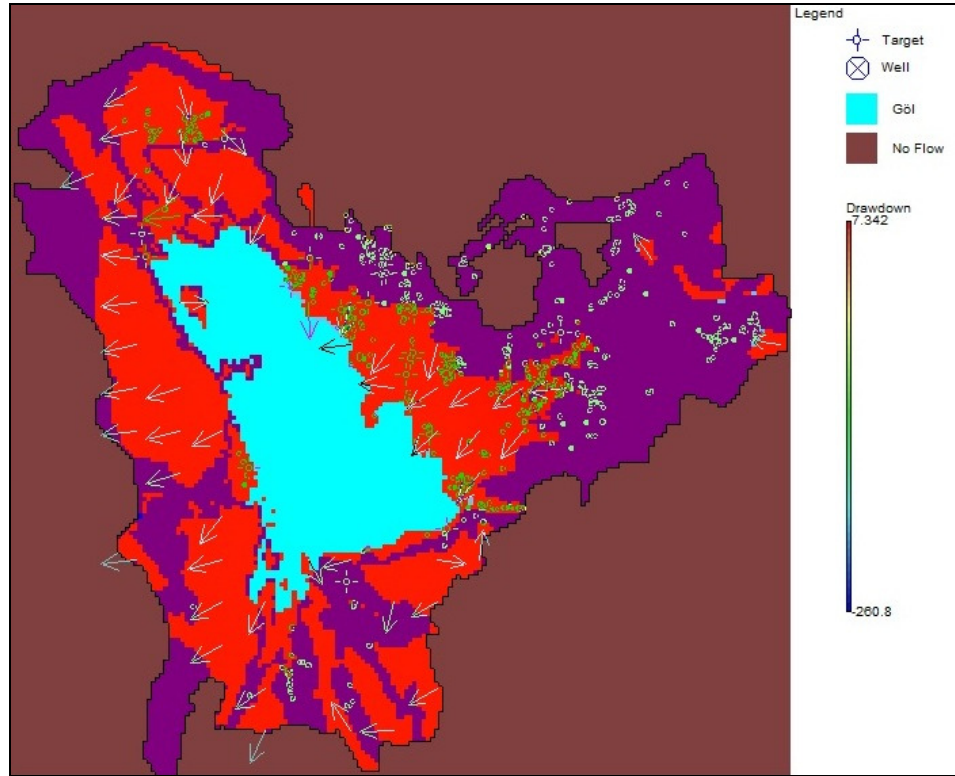


Şekil 4. 71.2050 yılı için A2 senaryosunun 4. tabaka için eş yeraltısuyu alçalma eğrisi

Şekil 4.72-4.75.'de görülen 2100 yılı için A2 senaryosu için 1.tabakadaki yeraltısuyu alçalması 4 m. ve daha fazla değişmektedir. Model kararlı akım hali için çalıştığı için 2100 yılına kadar devamlı olarak kuyulardan su çekilmiştir. Modelde %14 oranında pompaj artışı ve sıcaklık artışına bağlı olarak %10,18 oranında yağışta meydana gelen azalma sonucunda akifer alanında 2011 yılına göre daha fazla alan kurumuştur.

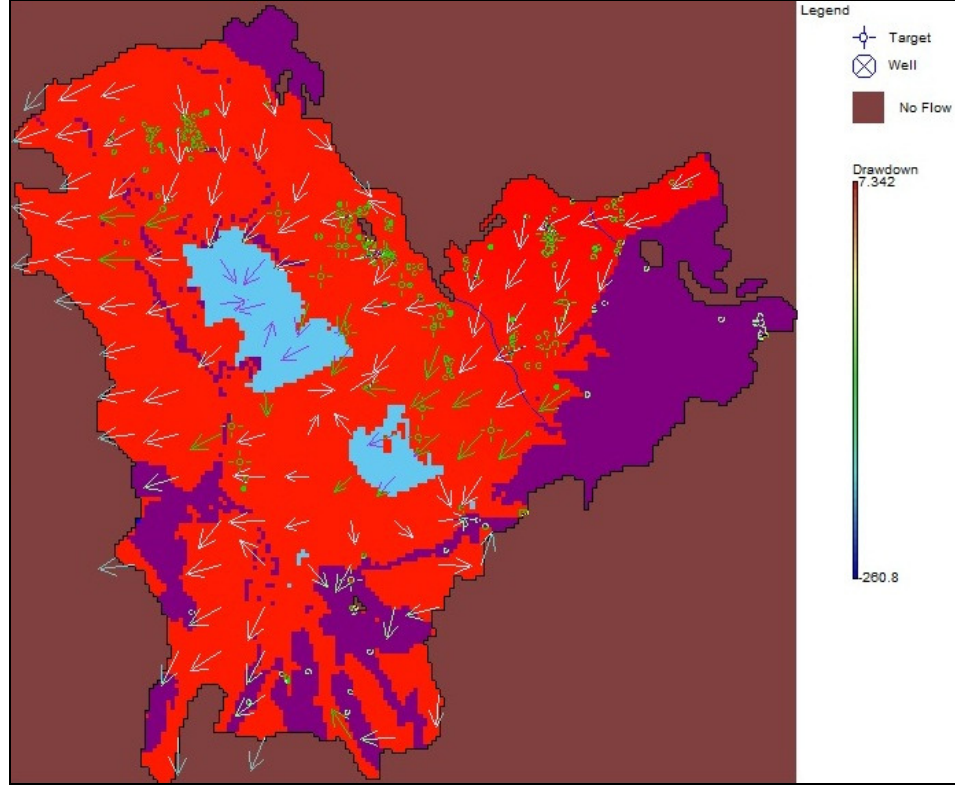


Şekil 4. 72.2100 yılı için A2 senaryosunun 1. tabaka için eş yeraltısuyu alçalma eğrisi

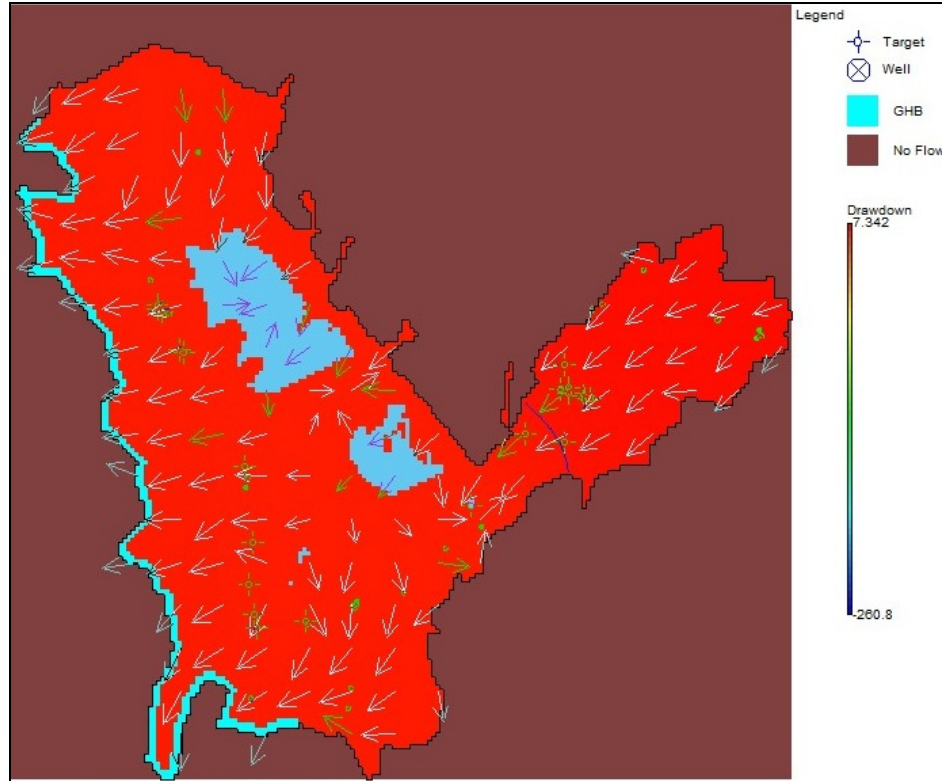


Şekil 4. 73.2100 yılı için A2 senaryosunun 2. tabaka için eş yeraltısuyu alçalma eğrisi





Şekil 4. 74.2100 yılı için A2 senaryosunun 3. tabaka için eş yeraltı suyu alçalma eğrisi



Şekil 4. 75.2100 yılı için A2 senaryosunun 4. tabaka için eş yeraltı suyu alçalma eğrisi

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Beyşehir Gölü Havzası'nın jeolojisi, hidroliği, hidrojeolojisi incelenerek, 2011 yılı mayıs ayı için Beyşehir Gölü Havzası'ndaki yeraltısuyu durumunu analiz edebilmek amacıyla yeraltısuyu akım modellemesi yapılmıştır. Havzada, akiferin durumu; yağış, buharlaşma, kuyulardan pompajla yapılan çekimlere bağlı olarak yeraltısuyunun üç boyutlu akım modeli MODFLOW programı ile yapılmıştır. Yeraltısuyu akım modeli; havzanın jeolojik yapısı, hidroliği, beslenme boşalım özellikleri, sınır koşullarının modele aktarılması ve arazide açılmış olan rasat kuyularındaki modellemesi yapılan yılındaki ölçümlerle değerlendirilmesi sonucunda geliştirilmiştir.

Modelleme başlangıcında havzada yapılan jeolojik çalışmalardan faydalanılarak hidrolik iletkenlik değerleri modele yansıtılmış olup, kalibrasyon işlemi sırasında arazide DSİ tarafından açılmış olan rasat kuyularından ve havzada bulunan düzenli ölçüm aldığımız sondaj ve keson kuyularından faydalanılarak zeminin hidrolik iletkenlik değerleri (K) tahmin edilmiştir. Model ile havzadaki yeraltısuyu akım yönünün doğudan-batıya doğru olduğu görülmüştür. Ayrıca model sonucunda akiferin genel su bütçesi hesaplanarak, akiferin besleniminin kararlı durumda  $1,354,309.81 \text{ m}^3/\text{gün}$ , akiferin boşalımının ise  $1,354,269.61 \text{ m}^3/\text{gün}$  olduğu görülmüştür. Tez çalışmasında akiferin yağıştan süzülme sonucu beslenme miktarı  $212,53 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$  olarak hesaplanmıştır.

Çalışma alanında en çok 2. tabakadan su çekilmiştir. Ayrıca modelde tanımlanan 593 adet kuyulardan pompaj çekimlerini %50 oranında azaltıp, %50 oranında artırılması sonucunda yeraltısuyu seviyesindeki değişimler incelenmiştir. Pompajın %50 azaltılması sonucunda, su yükselmeleri görülmüştür. Özellikle Beyşehir Havzası'nın kuzeyinde yeraltısuyu seviyeleri diğer bölgelere oranla daha çok yükselmiştir. Pompajın %50 artırılması sonucunda ise özellikle havzanın kuzeyinde yeraltısuyu seviyelerindeki düşüşlerin daha çok olduğu gözlenmiştir. Bu bölümde sulamada kullanılan kuyu sayısının çok olması ve kuyulardan çekilen debilerin yüksek olması nedeniyle yeraltısuyu seviyelerinin daha çok düştüğü görülmüştür. Beyşehir Gölünün orta kısımlarında ise pompaj çekimlerine bağlı olarak yeraltısuyu seviye

düşüşlerinin çok az olduğu, model sonucunda görülmüştür. Bu bölgelerde, gölde yeraltısuyu beslenimi olduğu için seviye düşüşleri daha azdır.

Çalışmada ayrıca, 2007 yılında Uluslararası İklim Değişikliği Paneli'nde (IPCC) ele alınan dört iklim senaryosundan A1FI, A2, B1, B2 senaryoları, 2050 ve 2100 yılları için modele aktararak sonuçları gözlenmiştir. Gelecek yıllarda, sıcaklık artışına bağlı olarak bitkiler için gerekli olan bitki su ihtiyaçları artacaktır. Bunu karşılamak için pompaj miktarını artırmamız gerekmektedir. İklim senaryoları gereğince pompaj miktarlarını artırıp, artan sıcaklıklara bağlı olarak yağış miktarlarını da azaltarak, 2050 ve 2100 yılları için model çalıştırılmıştır. Bu sonuçlar, 2011 yılındaki kararlı akım hali için kalibre edilmiş model ile karşılaştırılmıştır. Buna göre; 2050 ve 2100 yıllarında pompajın artışı ve yağışın azalışıyla birlikte tabakalardaki yeraltısuyu seviyeleri düşmüştür. Kararlı hal için model, veriler doğrultusunda sürekli olarak sistemden su çekmektedir. Bunun sonucunda akiferde yeraltısuyu seviyeleri düşmüş ve bazı bölgelerde tabakalar kurumuştur. Özellikle 2100 yılı için A2 senaryosunda, 2011 yılındaki uygulanmış modele oranla çok farklar olduğu görülmüştür. A2 senaryosu ile 2100 yılına kadar kuyulardan devamlı olarak % 14 oranında pompaj artışına bağlı olarak su çekilmiştir. Ayrıca bu senaryoda sıcaklık artışıyla birlikte % 10,18 oranında yağış azalmıştır. Buna göre A2 senaryosu için 1.tabaka, model yılındaki tabaka ile karşılaştırılmış ve 2100 yılı için akiferin %50,4'ünün kuruduğu tespit edilmiştir. Ayrıca 2.tabakadaki akiferin de %62,47'sinin kuruduğu görülmüştür. İklim değişikliğinin etkileri sonucunda artan sıcaklıklara bağlı olarak sulama suyu ihtiyacının artması, çalışmada yer alan senaryolarda kullanılan yeraltısuyu pompaj miktarlarından daha fazla olabilir.

Küresel ısınma sonucunda dünyada ve ülkemizde orta ve güney kısımlarda ciddi bir kuraklık beklenmektedir. Yağışlar, geçmiş yıllara oranla azalmış olup, kaynaklar yeterli oranda beslenememektedir. Bu çalışmada, Beyşehir Havzasındaki sulama ve ihtiyaç suyu olarak kullanılan akiferinin 2050 ve 2100 yıllarındaki iklim senaryolarına göre ciddi bir sıkıntıyla karşı karşıya kalacağı anlaşılmaktadır. Bu sıkıntıları ortadan kaldırmak için suyu bilinçli kullanmak gerekmektedir. Daha az suyla etkin bir şekilde sulama yapan damla sulama benzeri daha modern sulama teknikleri ile sulama yapılmalı ve sulama yöntemleri bu doğrultuda geliştirilmelidir. Ayrıca, yeraltısuyuna alternatif su kaynaklarının araştırılması gerekmektedir.

## KAYNAKLAR

- Ahmed, I., Umar, R., 2009. Groundwater flow modelling of Yamuna-Krishni İnterstream, a Part of Central Ganga Plain Uttar Pradesh. *Journal of Earth System Science*, 118 (5), 507–523.
- Akay, E. ve Uysal, Ş., 1988. Orta Torosların Post-Eosen Tektoniği, *Maden Tetkik Arama Dergisi*, 108, 57-68, Ankara.
- Al-Assa'd, T.A., Abdulla, F.A., 2009. Artificial groundwater recharge to a semi-arid basin: case study of Mujib aquifer, Jordan. *Journal Environmental Earth Sciences*, 60 (4), 845–859.
- Apaydın, A., 2004. “Çakıloba-Karadoruk Akifer Sisteminin (Beypazarı Batısı-Ankara) Beslenme Koşullarının Araştırılması”. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara.
- Apaydın, A., 2007. Yeraltı suyu Besleniminin Eğri Numarası (SCS-CN) Yöntemi ile Hesaplanması: Çakıloba-Karadoruk Akifer Sisteminde (Beypazarı-Ankara) Örnek Uygulama. *Yerbilimleri Dergisi*, Ankara, 28(3): 159-172.
- Aron, G.M., A.C. Miller and D.F. Lakatos, “Infiltration formula based on SCS curve number” , *Journal of Irrigation and Drainage Division*, 103, pp. 419-427, 1977.
- Atalay, İ., .1975. Tektonik Hareketlerin Sultandağları'nın Jeomorfolojisine olan Etkisi, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 18, 21-26
- Atalay, İ., 1982. *Türkiye Jeomorfolojisine Giriş, Genişletilmiş 2. Baskı*, Ege Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Yayın No:9, 456 s.
- Atilla, A.Ö., 2002. Afyon Ovası Yeraltısuyu Akım Modeli. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 26 (2), 17–30.
- Ayhan, A., Güzel, A., Küçüköyük, M., Budak, Y., Tütüncü, T., 1992. Beyşehir Gölü'nün Su Kaynaklarının Korunması, Bakteriyel ve Kimyasal Kirlenmenin Araştırılması Projesi, Su Ürünleri Çevre Sorunları Araştırma Uygulama Merkezi, 12s.
- Beller, M., 1987 Beyşehir içme suyu arıtma tesisinde verimlilik analizleri, Selçuk Üniversitesi Yüksek Lisans tezi Fen Bilimleri Enstitüsü, Y.Lisans Tezi, 89 s, Konya.
- Biricik, A. S., 1982. Beyşehir Gölü Havzasının Strüktürel ve Jeomorfolojik Etüdü, İstanbul Üniversitesi, Coğrafya Enstitüsü Yayınları, No:119, 250 s.
- Blaney, H.F., Criddle, W.D., 1950. Determining water requirements in irrigation areas from climatological and irrigation data, USDA Soil Conserv Service, Tech, Paper, no 96.

- Blumenthal, M., 1963. Le Systéme Structural du Taurus Sud-Anotolien: in Livre à La mémoire du Professeur P. Fallot, Mém. hs. sér. Soc. Géol. France, 2, 611-622 s.
- Brunn, J.H., 1976. L'arc Concave Zagro-Taurique Et Les Arcs Convexes Taurique Et Egeen, Collision Et Induits, Bull. Soc. Geol. France, (7) XVIII, No:2 553-567.
- Ceyhan, N., 1998. Beyşehir Gölü Soğuksu - Yeşildağ ve İlmenler su toplama havzalarının hidrolojisi, Selçuk Üniversitesi Yüksek Lisans tezi Fen Bilimleri Enstitüsü, Y.Lisans Tezi, 98 s, Konya.
- Demirkol, C., Sipahi, H., Çiçek, S., Barka, A., Sönmez, Ş., 1977. Sultandağının Stratigrafisi ve Jeoloji Evrimi, MTA Enstitüsü Jeoloji Dairesi, MTA raporu, Yayımlanmamış, Derleme No:6305.
- Dişli, E., 2005. Evrik Modelleme Tekniğinin Yeraltı Akım Modellerinde Kullanılması: Afyon Şuhut Ovası. Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Dergisi, 26 (2), 33-47.
- Dişli, E., 2007. Eymir-Mogan Gölleri Arasında Yeraltısuyu Akım ve Kütle Taşınım Modeli. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 118 s, Ankara.
- Dumont, J.F., Kerey, E., 1975. Eğirdir Gölü Güneyinin Temel Jeolojik Etüdü, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 18, 169-175.
- Ekmekçi, M., 1987. Beyşehir Gölü'nün Komşu Havza Akımlarına Olan Etkilerinin Araştırılması, Y. Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- El-Bihery, M.A., 2008. Groundwater flow modeling of Quaternary aquifer Ras Sudr Egypt. <http://www.springerlink.com/content/xj8114121t21517q/?p=4112a4b6de5844f481ed3b1608df6634&pi=0>. Erişim Tarihi: 15.01.2010.
- Elçi, A., Gündüz, O., Şimşek, C., 2007. Torbalı Ovası Yüzeysel Akiferindeki Yeraltısuyu Akımının Matematiksel Modelleme İle Tespiti. 5.Ulusal Hidroloji Kongresi Bildiriler Kitabı, 5, 509-518.
- Erdemli, B.Ü., 2008. Ulubey Akifer sisteminin (Uşak-Türkiye) Modellenmesi ve Yeraltısuları Yönetim Planı Geliştirilmesi. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Y. Lisans Tezi, 146 s, Ankara.
- Eren, Y., 1990. Engili (Akşehir) ve Bağkonak (Yalvaç) Köyleri Arasında Sultandağları Masifi'nin Tektonik Özellikleri, Türkiye Jeoloji Bülteni, 33.
- Erol, O., 1981. Neotectonic and Geomorphological Evulation of Turkey, Zeitschrift für Geomorphologie, N.F. Suppl. Bd., 40, 193-211.

- Ersoy, A.F., Gültekin, F., 2009. Gümüşhacıköy (Amasya) Akiferi'nin Yeraltısuyu Akım Modeli. 62.Türkiye Jeoloji Kurultayı, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası,13–17 Nisan, Ankara.
- Freeze, R.A., Cherry, J.A., 1979. Groundwater. Prentice-Hall: Englewood Cliffs, NJ, 604p.
- Google Earth, 2012. İnternet Sitesi. <http://www.googleearth.com>. Erişim Tarihi: 05.03.2012.
- Gutnic, M., Kelter, D., Monod, O., 1968. Decouverte de Nappes de Charriage Dans le Nord du Taurus Occidental (Turquie), C. R. Acad. Sci. 226, 988-991.
- Harbaugh, A.W., Banta, E.R., Hill, M.C., McDonald, M.G., 2000. MODFLOW-2000, The U.S. Geological Survey modular ground - water model - User guide to modularization concepts and the Ground-Water Flow Process: U.S. Geological Survey Open-File Report 00-92, 121 p.
- Hill, M.C., 1992. A computer program (MODFLOWP) for Estimating Parameters Of A Transient, Three-Dimensional, Ground-Water Flow Model Using Nonlinear Regression: U.S. Geological Survey Open-File Report 91-484, 58p.
- Idrysy, H.E., Smedt, F.D., 2006. Modelling Groundwater Flow Of The Trifa Aquifer Morocco. Hydrogeology Journal, 14 (7), 1265–1276.
- IECO-AKNIL, 1966. Konya-Çumra Havzası, Su Kaynaklarının Gelistirilmesi Mastır Planı, DS\_ Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007. İnternet Sitesi. <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-spm.pdf>. Erişim Tarihi: 20.03.2010.
- Jaworska, B., 2009. Groundwater flow modelling of multi-aquifer systems for regional resources evaluation: the Gdansk hydrogeological system Poland. Hydrogeology Journal, 17 (6), 1521–1542.
- Jumikis, A.R., 1983. Soil Mechanisc, Van Nostrand Reinhold (UK) Co. Ltd. Third Edition, Berkshire, England, 419p.
- Jusseret, S., Tam, V.T., Dassargues, A., 2009. Groundwater flow modelling in the central zone of Hanoi Vietnam. Hydrogeology Journal, 17 (4), 915–934.
- Kallioras, A., Pliakas, F., Diamantis, I., 2009. Simulation of Groundwater Flow in a Sedimentary Aquifer System Subjected to Overexploitation. <http://www.springerlink.com/content/p3762k7086u66854/?p=b497b9b46c69430794e135142ab5a610&pi=1>. Erişim Tarihi: 10.02.2010.

- Karadaş, D., Elçi, A., Şimsek, C., Gündüz, O., Kazanasız, E., 2007. İzmir Tahtalı Çayı Havzasında Mevsimsel Yeraltısu Düşümünün Matematiksel Model ile Belirlenmesi. 7.Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı, 7, 41-49.
- Karadaş, D., 2009. The Development of a Regional groundwater Flow Model For The Tahtalı Watershed. Dokuz Eylül University Graduate School Of Natural And Applied Sciences, M.Sc.thises, p.72, İzmir.
- Karaman, M. E., 1994. Isparta-Burdur Arasının Jeolojisi ve Tektonik Özellikleri, Türkiye Jeoloji Bülteni, 37, 2, 119-134.
- Kazancı, N., Oğuzkurt, D., Dügel, M., 2003. Beyşehir Gölü'nün Limnolojisi, Çevre Kalitesi, Biyolojik Çeşitliliği ve Korunması, Türkiye İç Suları Araştırma Dizisi: VII, İmaj Yayınevi, 148 s., Ankara.
- Kerey, İ.E., 1987. Sultan Dağları Bölgesinde Koçbeyli Tektonik Penceresi, Akdeniz Üniversitesi, Isparta Mühendislik Fakültesi Dergisi, 3, 3, 61-69.
- Ketin, İ., 1966. Tectonic units of Anatolia (Asia Minor), Maden Tetkik Arama Dergisi, 66, 23-34.
- Koçyiğit, A., 1981. Isparta Büklümünde (Batı Toroslar) Toros Karbonat Platformunun Evrimi, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 24, 15-23.
- Koçyiğit, A., 1983. Hoyran Gölü (Isparta Büklümü) Dolayının Tektoniği, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 26, 1-10.
- Kouame, K.J., Jourda, J.P., Biemi, J., 2008. Groundwater Modelling and Implication for Groundwater Protection: Case Study of The Abidjan Aquifer. Applied Groundwater Studies in Africa, 13 (27), 457-472.
- Kulak, R., 2006. KKTC Yeşilköy Havzasının Hidrojeolojik Modellemesi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Anabilim Dalı, Y.Lisans Tezi, 107 s, KKTC.
- McDonald, G., Harbaugh, A.H., 1988. A Modular Three-Dimensional Finite Difference Groundwater Flow Model, U.S. Geological Survey, Open File Report, 83-875, 528 p.
- Mercan, D.E. Kabdaslı, S., 2006. Beyşehir Gölü'nün su dengesi, 1st Uluslararası Beyşehir ve Yöresi Sempozyumu, Selçuk Üniversitesi, Beyşehir, Konya, 11-13 Mayıs, 2006, 56-60.
- Novinpour, E.A., 1987. Beyşehir (Konya) doğusundaki kaynaklar ile çevresinin jeolojisi ve hidroloji incelemesi, Selçuk Üniversitesi Yüksek lisans tezi Fen Bilimleri Enstitüsü, 107 s, Konya.
- Palma, H.C., 2003. Numerical Modeling Of The Groundwater Flow System in a Subbasin Of The Leon-Chinandega Aguifer Nicaragua. University of Calgary, M.Sc.thises, p.226.

- Pisinaras, V., Petalas, C., Tsihrintzis, V.A., Zagana, E., 2007. A groundwater flow model for water resources management in the Ismarida plain North Greece. *Environmental Modeling and Assessment*, 12 (2), 75–89.
- Ruosteenoja, K., Tuomenvirta, H., Jylha, K., 2007. GCM-based regional temperature and precipitation change estimates for Europe under four SRES scenarios applying a super-ensemble pattern-scaling method, *Springer Science Climatic Change* 81, 193-208.
- SCS (Soil Conservation Service), *National Engineering Handbook, Sec:4, Hydrology*. U.S. Department of Agriculture, Washington, USA., 1972(a), 1987 (b).
- Soyaslan, İ.İ., 2004. Eğirdir Gölü Doğusunun Hidrojeoloji İncelemesi ve Yeraltısuyu Modellemesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 210 s.
- Springer, E.P., B.J. McGurk, R.H. Hawkins and G.B. Coltharp, “Curve numbers from watershed data”, *Symposium on Watershed Management*, Boise, Idaho. Irrigation and Drainage Division of ASCE, pp. 938-950., 1980.
- Şengör, A.M.C., 1980. Türkiye'nin Neotektoniğinin Esasları Türkiye Jeoloji Kurultayı Konferanslar dizisi, 2, 40 s.
- Şen, O., 1989. Beyşehir (Konya) Güneybatısının Jeolojisi, Y. Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 78 s.
- Tufan, S., 2007. Bakırköy Havzasının Bilgisayar Ortamında Modellenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Anabilim Dalı, Y.Lisans Tezi, 100 s.
- Tunay, G., 1995. Beyşehir Hoyran Napındaki (Orta Toroslar), Kondanse Serinin Sedimentolojisi ve Paleontolojisi, Y. Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 56 s.
- Tüstaş Sınai Tesisler A.Ş. Proje Daire Başkanlığı, 1999. “Beyşehir Gölü Sulak Alanı Yüzey Suyu Toplama Havzası Yönetim Planı Analitik Etüd Raporu”, Konya Valiliği ve Beyşehir Kaymakamlığı, Ankara.
- USGS (U.S. Geological Survey), 1997. İnternet Sitesi. <http://pubs.usgs.gov/fs/FS-121-97/>. Erişim Tarihi: 20.04.2010.
- Wang, S., Shao, J., Song, X., Zhang, Y., Huo, Z., Zhou, X., 2008. Application of MODFLOW and geographic information system to groundwater flow simulation in North China Plain. *Journal Environmental Geology*, 55 (7), 1449–1462.



- Yağmurlu, F., 1990. Yalvaç, Şarkikaraağaç ve Gelendost Havzasındaki Tersiyer Linyitlerinin Stratigrafisi, Depolama Ortamları ve Petrografisi: Tübitak Temel Bilimler Araştırma Grubu, Proje No TBAG-808, 68 s., Ankara.
- Yağmurlu, F., Savaşçın, Y., Bozcu, M., 1997. Relation of Alkaline Volcanism and Active Tectonism within the Evolution of the Isparta Angle, SW-Turkey, The Journal of Geology, 105, 717-728.
- Yavuz, D., 2004. Çavdarhisar Havzasının (Kütahya) hidrolojisi ve yeraltısuyu modeli, Hacettepe Üniversitesi Yüksek Lisans tezi Fen Bilimleri Enstitüsü, Y.Lisans Tezi, 62 s.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Erdem Gümüş  
Doğum Yeri ve Yılı : Kozan / 30.11.1986  
Medeni Hali : Bekar  
Yabancı Dili : İngilizce



### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Adana Seyhan Tepebağ Lisesi (2001-2004)  
Lisans : Süleyman Demirel Üniversitesi / 2005–2010

### Mesleki Deneyim

09/2010 – 08/2012 109Y271 Nolu TÜBİTAK Projesi : Göl-Yeraltısuyu-İklim İlişkisinin Yeraltısuyu Akım Modeli ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Yardımıyla Belirlenerek Gölün Optimum Dinamik İşletme Modelini Oluşturulması: BEYŞEHİR GÖLÜ MODELİ

02/2010-05/2010 Su Getirme Kanalizasyon Projesi

10/2009-12/2009 Betonarme Yapı Projesi

02/2009-05/2009 Karayolu Projesi

07/2009-09/2009 Karayolu Stajı  
Stajyer – Kozan-Mansurlu Yol Çalışması

06/2009-07/2009 Yapı Stajı  
Stajyer – Yapı Denetim