



ANTALYA, OLYMPOS ANTİK KENTİ YERALTISUYU AKIMI MODELLEMESİ

Yüksek Lisans Tezi

Bilge BİNGÜL

Eskişehir 2019

**ANTALYA, OLYMPOS ANTİK KENTİ YERALTISUYU AKIMI
MODELLEMESİ**

Bilge BİNGÜL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Emrah PEKKAN

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Ağustos 2019

Bu tez çalışması BAP Komisyonunca kabul edilen 1604F162 no.lu proje kapsamında desteklenmiştir.

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Bilge BİNGÜL'ün "Antalya, Olympos Antik Kenti Yeraltısıyu Akımı Modellemesi" başlıklı tezi 23/08/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek "Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği"nin ilgili maddeleri uyarınca, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

	<u>Ünvanı – Adı Soyadı</u>	<u>İmza</u>
Üye (Tez Danışmanı)	: Dr. Emrah PEKKAN	
Üye	: Doç. Dr. Serdar KORKMAZ	
Üye	: Dr. Muammer TÜN	

.....

Enstitü Müdürü

Prof. Dr. Murat TANIŞLI

ÖZET

ANTALYA, OLYMPOS ANTİK KENTİ YERALTISUYU AKIMI MODELLEMESİ

Bilge BİNGÜL

Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ağustos 2019

Danışman: Dr. Emrah PEKKAN

Olympos, nehir kenarına kurulmuş antik dönem kentidir. Antik kent, sığ bir yeraltısuyu tablasının üzerine kurulmuştur. Bölgede yapılan çalışmalarla şehri ortadan ikiye bölen nehrin kuzeyinde bir göl bulunduğu ve çevredeki kireçtaşlarından gölün beslendiği ortaya konulmaktadır. Günümüzde, hidrolojik koşulların değişmesinden dolayı göl kurumuştur ve antik göl sınırları içerisinde çok sığ yeraltısuyu seviyesi gözlenmektedir. Yapılan arkeolojik kazı çalışmalarıyla, antik dönemde gölün kullanıldığı ve göldeki fazla suyu drene eden antik kanalların varlığı ortaya konulmuştur. Gerek güncel hidrolojik koşulların, gerekse deniz seviyesinin değişiminden dolayı bu kanallar günümüzde kullanılamaz haldedir.

Geçmiş deniz seviyesinin günümüze göre farklı bir seviyede bulunması ve güncel yeraltı-yüzeysuyu dengesinin sağlanması için daha sonradan doğal veya yapay olarak oluşan kanallar, antik dönemde kullanılabilir halde bulunan bazı yapıları günümüzde sular altında bırakmıştır. Bu durum bölgenin arkeolojik açıdan araştırılmasını güçleştirmektedir. Yapılan tez çalışması ile Olympos antik kent bölgesinde; bölgedeki arkeolojik araştırmaların sürdürülebilir olması amacıyla sular altında kalan yapılar üzerinde uygulanacak drenaj yöntemleri için temel bilgilerin üretilmesi amaçlanmıştır. Bölgenin güncel ve geçmiş döneme dair yeraltısuyu-yüzeysuyu ilişkisinin MODFLOW-2000 yazılımının GMS arayüzü kullanılarak modellenmesi hedeflenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Yeraltısuyu modellemesi, Olympos Antik Kenti, Drenaj, MODFLOW-2000, GMS

ABSTRACT

MODELLING OF GROUNDWATER FLOW IN THE ANCIENT CITY OLYMPOS, ANTALYA

Bilge BİNGÜL

Department of Remote Sensing and Geographical Information Systems

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, August 2019

Supervisor: Dr. Emrah PEKKAN

Olympos is an ancient city founded by the river. The ancient city was built on a shallow groundwater table. The studies in the region prove that there was an ancient lake in the north of the river which divides the city into two parts from the middle and the lake was fed from the surrounding limestones. Nowadays, the lake has dried up due to the altered hydrological conditions and very shallow groundwater levels are observed within the boundaries of the ancient lake. The archeological excavations have revealed that the lake was used in the ancient times, and ancient channels draining the excess water in it were existed. These ancient channels are currently unavailable because of both the current hydrological conditions and the changes in the sea level.

Not only existing a difference between the sea level in the past and the present but also the channels which were formed naturally or artificially to maintain the current ground-surface water balance, some of the ancient structures have been drowned today. This situation makes it difficult to carry out archaeological research in the region. In the light of this thesis project, it is aimed to produce the basic information about the drainage methods to be applied on drowned structures in order to sustain the archeological researches in the ancient city of Olympos; besides, it is purposed to model the relationship between the groundwater and the surface water of the region by using the GMS interface of MODFLOW-2000 software.

Keywords: Groundwater modelling, Olympos Ancient City, Drainage, MODFLOW-2000, GMS

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Anadolu Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Bilge BİNGÜL

TEŞEKKÜR

Tez danışmanım olarak araştırmalarımı yönlendiren, her türlü yol göstericiliğini, desteğini ve yardımını esirgemeyen değerli hocam Sayın Dr. Emrah PEKKAN'a beni bu yolda yalnız bırakmadığı ve her türlü proje ve çalışmalarda cesaretlendirdiği için sonsuz teşekkür ederim.

Bu çalışmanın yürütülmesi sırasında desteklerini esirgemeyen Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı öğretim üyesi Sayın Doç. Dr. Serdar KORKMAZ'a,

Araştırmalar ve tezden üretilen makaleler esnasında her türlü desteği gösteren Olympos Kazısı Başkanı Sayın Prof. Dr. B. Yelda OLCAY UÇKAN'a, Kazı Başkanı Yardımcısı Sayın Dr. Gökçen Kurtuluş ÖZTAŞKIN'a, arazi çalışmaları süresince desteğini esirgemeyen 2019'un Mayıs ayında kaybettiğimiz Olympos Kazısı Onursal Üyesi, Alan Sorumlusu ve Kazı Başkan Yardımcısı Vekili rahmetli Sayın Sinan SERTEL'e ve tüm diğer Olympos Kazısı üyelerine teşekkür ederim.

Yüksek lisansa başlama ve devam ettirme konusunda beni cesaretlendiren, eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi beni yalnız bırakmayan, bütün zor durumlarda tez çalışmamı sürdürebilmem için ellerinden gelen tüm imkanları kullanan sevgili aileme; annem Seyhan BİNGÜL'e ve babam Mehmet BİNGÜL'e çok teşekkür ederim. Tez savunmamdan çok kısa bir süre önce kaybettiğim çok değerli anneannem Neriman ÖZÇAM'a ise hayatımın her anında koşulsuzca yanımda olduğu için özellikle teşekkür ederim.

Ağustos, 2019

Bilge BİNGÜL

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	iv
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar/ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Gerekçe.....	1
1.2. Amaç ve Kapsam.....	3
1.3. Tez Metninin Ana Hatları	4
2. ÇALIŞMA ALANI.....	6
2.1. Coğrafi Konum.....	6
2.2. Tarihçe	7
2.3. Jeoloji	11
3. HİDROJEOLojİK KAVRAMSAL MODELİN OLUŞTURULMASI.....	18
3.1. Olympos'u Etkileyen Jeodinamik Süreçlerin İncelenmesi.....	18
3.1.1. Tektonizma	18
3.1.2. Deniz seviyesi değişimleri.....	23
3.1.3. Bölgenin jeomorfolojik evrimi.....	28
3.2. Bölgenin Hidrojeolojik Açidan Kavramsallaştırılması	33
4. SAYISAL AKIM MODELİ	37
4.1. Yeraltısuyu Akım Denklemi.....	37
4.2. MODFLOW'da Sonlu Farklar Yaklaşımı.....	39
4.3. Kullanılan Yazılım	41

4.3.1. GMS modelleme programı hakkında genel bilgiler	42
5. VERİLER VE VERİ ÜRETİM YÖNTEMLERİ.....	45
5.1. Derlenen Veriler	45
5.2. Üretilen Veriler.....	45
5.2.1. Topoğrafya verileri	45
5.2.2. Buharlaşma ve yağış verileri.....	49
5.2.3. Hidrolik iletkenlik katsayısı değerleri	52
5.2.4. YASS kotu ve su seviyesi ölçümleri.....	56
6. YERALTISUYU AKIMI MODELLERİNİN ÜRETİLMESİ.....	60
6.1. Kavramsal Model Oluşturma ve Geliştirme İşlem Adımları.....	60
6.1.1. Birimlerin düzenlenmesi	60
6.1.2. Projeksiyon tanımlanması.....	60
6.1.3. Kavramsal model (conceptual model) ve kapsamların (coverage) oluşturulması	60
6.1.4. Grid ağlarının oluşturulması	63
6.1.5. Topoğrafya verilerinin girilmesi	63
6.2. Benzeşimlerin (Simülasyon) Üretilmesi İşlemleri	64
6.2.1. Güncel dönem Olympos antik kent modellemesi.....	64
6.2.2. Geçmiş dönem Olympos antik kent modellemeleri	78
6.2.2.1. <i>Günümüzden 2500 yıl öncesine (M. Ö. 500) ait tahmini kent modellemesi</i>	<i>79</i>
6.2.2.2. <i>Günümüzden 2000 yıl öncesine (M. Ö. 0) ait tahmini kent modellemesi</i>	<i>84</i>
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	89
KAYNAKÇA.....	93
ÖZGEÇMİŞ	

TABLolar/ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Tablo 5.1. Nivo ve şerit metre kullanılarak model alanı içerisinde ölçülen topoğrafik kot bilgileri	47
Tablo 5.2. İzleyici boya maddesinin zamana bağlı değişen konsantrasyon değerleri	54
Tablo 5.3. Yeraltı suyu seviyesi ölçümü yapılan noktaların koordinatları ve su seviyeleri	57
Tablo 5.4. Olympos Çayı yan kolları üzerinden alınan su seviyesi ölçümleri.....	58
Tablo 5.5. Olympos Çayı üzerinden yapılan su seviyesi ölçümleri	58
Tablo 6.1. Kullanılan paketler ve paketlerin tanımlanabilmesi için gereken parametreler	62
Tablo 6.2. Güncel dönem için üretilen kararlı durumdaki modelde genel yük sınırı için girilen su seviyesi değerleri	65
Tablo 7.1. Geçmişten günümüze Mozaikli Yapı ve bataklık alanı su seviyesi değerleri	91

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Olympos Çayı'nın Akdeniz'e döküldüğü konum, bakış kuzeybatıdan.	2
Şekil 1.2. Olympos Çayı'nın Akdeniz'e döküldüğü konum, bakış batıdan.	2
Şekil 1.3. Olympos antik kenti sınırları içerisinde günümüzde sular altında kalmış Mozaikli Yapı.	3
Şekil 2.1. Uydu görüntüsü kullanılarak hazırlanan Olympos antik kenti yer bulduru haritası.	6
Şekil 2.2. Olympos kentinin tarihi Likya Birliği içerisindeki konumu (Olçay Uçkan ve Evcim, 2015, s. 15).	7
Şekil 2.3. Olympos antik kenti yerleşim planı (Olçay Uçkan, Mergen ve Uğurlu, 2006, s. 126).	8
Şekil 2.4. Olympos antik kenti rekonstrüksiyonu, bakış kuzeybatından (http-1'den düzenlenmiştir).	8
Şekil 2.5. Antik Olympos kent modeli, bakış kuzeybatıdan (Olçay Uçkan ve Evcim, 2015).	9
Şekil 2.6. Olympos antik kentinin günümüzde Google Earth ile alınmış görüntüsü, bakış kuzeybatıdan.	9
Şekil 2.7. Olympos Mozaikli Yapı içerisi, bakış a) güneyden b) kuzeydoğudan (G. K. Öztaşkın ve M. Öztaşkın, 2009, s. 339).	10
Şekil 2.8. Olympos Roma Dönemi Köprüsü'nün rekonstrüksiyon görüntüsü (http- 2).	11
Şekil 2.9. Günümüzde Roma Dönemi köprüsünden kalan köprü ayağının son durumu, bakış kuzeybatıdan.	11

Şekil 2.10. Torosları oluşturan bölümlerin ve napların basitleştirilmiş haritası (Işık, 2018).....	12
Şekil 2.11. Antalya Birliği Napılarının coğrafi dağılımı (Şenel, 1997; C. Yılmaz, 2014'ten düzenlenerek yeniden çizilmiştir.): 1; Kuvaterner, 2; Tekirova Ofiyolit Napı, 2a; Kırkdirek Formasyonu (ofiyolitli melanj), 2b; Tekirova Ofiyoliti (okyanusal kabuk kayalarları), 3; Tahtalıdağ Napı, 4; Alakırçay Napı, 5; Çataltepe Napı, 6; Beydağları Otoktonu.....	14
Şekil 2.12. Olympos ve yakın çevresinin jeoloji haritası.	17
Şekil 3.1. Doğru Akdeniz ve çevresinin basitleştirilmiş tektonik haritası (Aksu, Hall ve Yaltırak, 2005'den düzenleyen Bekaroğlu, 2008) ile EBTP sırasında yükselmiş kıyı çizgilerinin (çeşitli kaynaklardan) bulunduğu lokaliteler (siyah noktalar) ve yükselme değerleri (metre olarak).	20
Şekil 3.2. Hatay kıyılarına ait yükselmiş deniz seviyelerini gösteren bir görüntü (Pirazzoli vd., 1993).....	21
Şekil 3.3. Östatik ve bağıl deniz seviyesi değişiminin şematik gösterimi (Kendall ve Lerche, 1988'den düzenleyen İde, 2011).	24
Şekil 3.4. Yerkürenin yüzey sıcaklığının jeolojik tarih boyunca değişimi (Saltzman, 2002, s.6'dan düzenleyen Çiner ve Sarıkaya, 2013).	25
Şekil 3.5. Yapılan sedimantolojik ve arkeolojik çalışmalarla, ¹⁴ C yaşlandırma testlerine de dayalı olarak son 7000 yıldır Türkiye Ege kıyılarında kabul edilen bağıl deniz seviyesi değişim modeli. (Kayan, 1995, s. 216'dan düzenlenerek yeniden çizilmiştir).	27
Şekil 3.6. Hunt ve Tucker (1992) çökelim şeması.	29
Şekil 3.7. Bağıl deniz seviyesi değişim modeli (Kayan, 1995, s. 216'dan düzenlenerek yeniden çizilmiştir.) Yatay eksen yıl birimiyle zamanı, dikey eksen metre birimiyle yüksekliği temsil etmektedir.	30

Şekil 3.8. Olympos ve Çıralı bölgelerinin jeomorfolojik evrimi. Günümüzden yaklaşık a) 6000 yıl önce (~M. Ö. 3400), b) 2500 yıl önce (~M. Ö. 500), c) 2000 yıl önce (~M. Ö. 0) ve d) 1000 yıl önce (~M. S. 1000).	32
Şekil 3.9. Türkiye Ege kıyıları deniz seviyesi değişim modeli ile Olympos sedimantasyon örtüsünün korelasyonu. Şekil 3.7’de ifade edilen a, b, c, d harfleri ile ilişkilendirilmiştir. Günümüzden yaklaşık a) 5500 yıl önce (~M. Ö. 3400), b) 2500 yıl önce (~M. Ö. 500), c) 2000 yıl önce (~M. Ö. 0) ve d) 1000 yıl önce (~M. S. 1000).	33
Şekil 3.10. Kesit çizgilerinin 3 farklı zaman üzerinde gösterimi.	34
Şekil 3.11. Güncel zaman dönemine ait kavramsal model.	35
Şekil 3.12. Günümüzden 2000 yıl önceki döneme ait (M.Ö. 0) kavramsal model.	35
Şekil 3.13. Günümüzden 2500 yıl önceki döneme ait (M.Ö. 500) kavramsal model.	36
Şekil 4.1. i,j,k hücresi ve bu hücreye komşu 6 grid hücresinin gösterimi (McDonald ve Harbaugh, 1988, s. 2-8).	40
Şekil 4.2. i,j-1,k hücresinden i,j,k hücresine doğru akan yeraltısuyu akışı ve sembollerin şekil üzerinde gösterimi (McDonald ve Harbaugh, 1988, s. 2-9).	40
Şekil 4.3. GMS arayüzünü gösteren ekran görüntüsü.	42
Şekil 4.4. Katman (Coverage) kurulum penceresi.	43
Şekil 5.1. Mozaikli Yapı çevresinde nivo ve şeritmetre kullanılarak yapılan kot ölçümü esnasında alınmış bir görüntü.	46
Şekil 5.2. Topoğrafik kot ölçümü yapılan lokasyonları gösteren harita.	48
Şekil 5.3. Çizilen eşyüksekti eğrileri ve eğri ile noktalardan oluşturulmuş TIN haritası.	48

Şekil 5.4. Bölgeye 17 Mayıs 2017 tarihinde kurulan meteoroloji istasyonu.....	50
Şekil 5.5. Günlük ETp sütun grafiği.....	51
Şekil 5.6. Günlük yağış sütun grafiği.	51
Şekil 5.7. İzleyici boyanın Mozaikli Yapı içerisinde bırakılması anında alınmış bir görüntü.....	52
Şekil 5.8. İzleyici boyanın Mozaikli Yapı içerisinde bırakılmasından belli bir süre sonra alınmış görüntü.....	52
Şekil 5.9. AquaFluor marka el tipi florometre cihazı.....	53
Şekil 5.10. Konsantrasyonun ölçülmesi sırasında alınmış bir görüntü.....	53
Şekil 5.11. İzleyici boya maddesine ait konsantrasyon/zaman grafiği.....	55
Şekil 5.12. Yeraltı su seviyesi ölçümü yapılan lokasyonların haritası.....	56
Şekil 5.13. Gözlem kuyularının açılması esnasında alınmış bir görüntü.....	57
Şekil 5.14. Olympos Çayı ve Olympos Çayı'nın yan kolları üzerinde su seviyesi ölçümü yapılan lokasyonların haritası.....	59
Şekil 6.1. Kullanılacak birimlerin düzenlenme ekranı.....	60
Şekil 6.2. Kapsam ayarları penceresi.....	61
Şekil 6.3. Sonlu Fark Grid Ağı oluşturma penceresi.....	63
Şekil 6.4. Modelleme işlemlerinin başlıksal gösterimi.....	64
Şekil 6.5. Model sınırları ve model alanındaki kaynakların gösterimi.....	65
Şekil 6.6. Model alanı içerisinde farklı hidrolik iletkenlik değerleri içeren bölgelerin gösterimi.....	67

Şekil 6.7. Kalibrasyon aralığı ve hata durumunu gösteren çubukların açıklaması (http-15).	68
Şekil 6.8. “MODFLOW Global/Basic Package” diyalog penceresi.	69
Şekil 6.9. Güncel dönem için üretilen kavramsal modelin MODFLOW'a aktarılması.....	70
Şekil 6.10. Güncel dönem için kararlı durumda oluşturulan güncel dönem yeraltısuyu benzeşimi.	71
Şekil 6.11. Bataklık alanından (i=59) geçen yatay kesit görünümü, düşey büyütme katsayısı: 5.	72
Şekil 6.12. Model hesaplamalarının gözlem verileri ile olan uyumu.	72
Şekil 6.13. Hesaplanan hidrolik yük değerlerinin gözlemlenen hidrolik yük değerleri ile uygunluk durumunu gösteren tablo.	73
Şekil 6.14. Hesaplanan – Gözlemlenen hidrolik yük değerleri grafiği.	73
Şekil 6.15. MODFLOW Parameters diyalog penceresi.	74
Şekil 6.16. “MODFLOW Global/Basic Package” diyalog penceresi.	75
Şekil 6.17. PEST analizi sonrasında model alanının hidroiletkenlik katsayısı değerleri.	75
Şekil 6.18. PEST analizi ile yapılan kalibrasyon işlemi sonrasında güncel dönem için kararlı durumda oluşturulan yeraltısuyu benzeşimi.	76
Şekil 6.19. PEST analizi ile yapılan kalibrasyon işlemi sonrasında model hesaplamalarının gözlem verileriyle olan uyumu.	77
Şekil 6.20. Kalibrasyon işlemi sonrasında hesaplanan hidrolik yük değerlerinin gözlemlenen hidrolik yük değerleri ile uygunluk durumunu gösteren tablo.	77

Şekil 6.21. PEST analizi ile yapılan kalibrasyon sonrasında hesaplanan – gözlemlenen hidrolik yük değerleri grafiği.	78
Şekil 6.22. Model sınırları ve model alanındaki kaynakların gösterimi.	79
Şekil 6.23. Günümüzden 2500 yıl öncesi için üretilen kavramsal modelin MODFLOW'a aktarılması.	81
Şekil 6.24. 2500 yıl öncesi için CBS ortamında hazırlanmış TIN haritası ve değerleri yeniden atanmış olan eşyüksekti eğrileri.	82
Şekil 6.25. Günümüzden 2500 yıl öncesi için kararlı durumda oluşturulan yeraltısuyu benzeşimi.	83
Şekil 6.26. Model sınırları ve model alanındaki kaynakların gösterimi.	84
Şekil 6.27. Günümüzden 2000 yıl öncesi için üretilen kavramsal modelin MODFLOW'a aktarılması.	86
Şekil 6.28. 2000 yıl öncesi için CBS ortamında hazırlanmış TIN haritası ve değerleri yeniden atanmış olan eşyüksekti eğrileri.	87
Şekil 6.29. Günümüzden 2000 yıl öncesi için kararlı durumda oluşturulan yeraltısuyu benzeşimi.	88
Şekil 7.1. Geçmişten günümüze Mozaikli Yapı ve bataklık alanı hidrolik yük değişim grafiği	91

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

CBS (GIS)	: Coğrafi Bilgi Sistemi (Geographic Information System)
CHD	: Constant Head Designation (Sabit Yük Tanımlama)
DEM	: Digital Elevation Model (Sayısal Yükseklik Modeli)
EBTP	: Early Byzantine Tectonic Paroxysm (Erken Bizans Tektonik Paroksizması)
ET	: Evapotranspirasyon
ETp	: Potansiyel Evapotranspirasyon
ETr	: Gerçek Evapotranspirasyon
FAO	: Food and Agriculture Organization of the United Nations (Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü)
GHB	: General Head Boundary (Genel Yük Sınırı)
GMS	: Groundwater Modelling System (Yeraltısuyu Modelleme Sistemi)
GPS	: Global Positioning System (Küresel Yer Belirleme Sistemi)
LGM	: Last Glacial Maximum (Son Glasyal Maksimum)
MODFLOW	: Modular Three-Dimensional Finite-Difference Groundwater Flow Model
MTA	: Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü
PEST	: Parameter Estimation Software (Parametre Tahmin Yazılımı)
Ss	: Specific Storage (Özgül Depolama)
Sy	: Specific Yield (Özgül Verim)
TIN	: Triangulated Irregular Network (Üçgenlenmiş Düzensiz Ağ)
USGS	: United States Geological Survey (Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırma Kurumu)
UTM	: The Universal Transverse Mercator (Evrensel Yatık Eksenli Mercator Projeksiyonu)
YASS	: Yeraltısı Seviyesi
WGS84	: World Geodetic System 1984 (Dünya Jeodezik Sistemi 1984)

1. GİRİŞ

1.1. Gerekçe

Ülkemizin Akdeniz kıyısındaki Finike-Samandağ arasında uzanan kıyı şeridi, gerek Holosen deniz seviyesi değişimleri, gerekse neotektonik aktivitenin izlerinin görülebildiği ideal bir bölgedir (Çiner vd., 2009). Bölgedeki yerel tektonik, östatik ve glasyo-hidrostatik faktörlerin neden olduğu bölgesel bağıl deniz seviyesi değişimleri (Lambeck ve Purcell, 2005) sadece jeolog ve jeomorfologların değil, kıyı şeridi boyunca birçok antik yerleşimin yer alması sebebiyle arkeologların da ilgisini çekmektedir.

Antik dönemde Likya Bölgesi'nde konumlanan, günümüzde de Antalya ilinin Kumluca ilçesi sınırları içerisinde olan Olympos antik kentinin, kendi döneminde ileri gelen bir liman kenti olduğu bilinmektedir. Arkeologlar tarafından kentin en önemli özelliğinin; yerleşim dokusundaki Roma, Erken Hristiyan ve Bizans dönemleri arasındaki değişimin açıkça izlenebilir olduğu düşünülmektedir (Olca Uçkan ve Evcim, 2015). Son yıllarda yapılan çalışmalarla kentin tarihi daha da aydınlık hale getirilmektedir.

Akdeniz sahilinde, antik çağdan günümüze kadar geçen zaman içerisinde Çiner vd. (2009) gibi çalışmalarda da bahsedildiği üzere özellikle Olympos bölgesinde 1 m.lik deniz seviyesi yükselmesi gerçekleşmiştir. Antik dönemdeki deniz seviyesi düşüklüğüne rağmen, yük gemilerinin Olympos Çayı'na yükleme yapabilmek için girdiği, günümüzdekinden çok farklı bir nehir seviyesi söz konusudur. Olympos Çayı ile Akdeniz arasındaki güncel duruma bakıldığında ikisinin arasındaki yüzey bağlantısının yok denebilecek kadar zayıf olduğu görülebilmektedir (Şekil 1.1 ve 1.2). Tüm bu bilgilere ek olarak; antik dönemden günümüze kadarki zaman aralığı içerisinde, kentin yeraltısu seviyesinde de yükselme olduğu, çeşitli çalışmalarla tespit edilmiştir. Yerel jeolojik ve/veya hidrojeolojik koşulların değişmediği göz önünde bulundurulduğunda kentin yeraltısu seviyesindeki yükselmenin sebebi olarak son 5000 yıldır deniz seviyesinin yükselmesi, değişen hidrolojik koşullar ve/veya antik dönemde kullanılabilen kanalların günümüzde kullanılamaz oluşuyla birlikte onların yerine oluşmuş doğal ya da yapay kanalların varlığı olarak düşünülmektedir.



Şekil 1.1. *Olympos Çayı'nın Akdeniz'e döküldüğü konum, bakış kuzeybatıdan.*



Şekil 1.2. *Olympos Çayı'nın Akdeniz'e döküldüğü konum, bakış batıdan.*

Olympos antik kentindeki yeraltısuyu seviyesinin yükselmesi, günümüzde Kültür ve Turizm Bakanlığı tarafından arkeolojik çalışmaların yapılmaya devam edildiği kentteki Mozaikli Yapı gibi önemli bazı tarihi yapıların sular altında kalmasına sebep olmuştur (Şekil 1.3).



Şekil 1.3. Olympos antik kenti sınırları içerisinde günümüzde sular altında kalmış Mozaikli Yapı.

1.2. Amaç ve Kapsam

Olympos antik kenti içinde bulunan ve arkeolojik araştırmalara engel olan suyun, tarihi yapılara zarar vermeden; kuyuların açılması, yeni açık/kapalı drenaj kanallarının açılması gibi çeşitli mühendislik yöntemlerinden seçilecek en az masraflı ve en ideal olanıyla bölgeden uzaklaştırılması gerekmektedir. Bölgedeki suyun uzaklaştırılması işleminin yapılabilmesi için öncelikle bölgenin jeolojik ve hidrojeolojik anlamda iyi analiz edilmiş olması gerekmektedir. Bu tez çalışması; bölgenin jeolojik ve hidrojeolojik açıdan araştırılmasını ve böylelikle bölgedeki arkeolojik araştırmaların sürdürülebilir olması amacıyla sular altında kalan yapılar üzerinde uygulanacak drenaj yöntemleri için temel bilgilerin üretilmesini amaçlamaktadır. Diğer yandan bölgenin jeomorfolojik evriminin aydınlatılması ve bununla birlikte antik zaman ile günümüzdeki yeraltısuyu-yüzeysuyu ilişkisinin karşılaştırılması hedeflenmektedir. Bölgenin hem güncel hem geçmiş döneme dair yeraltısuyu-yüzeysuyu ilişkisi, Modular Three-

Dimensional Finite-Difference Groundwater Flow Model (MODFLOW-2000) yazılımı tabanıyla çalışan Groundwater Modelling System (GMS) arayüz programı kullanılarak incelenecektir.

Tez çalışması sözü edilen amaçlar doğrultusunda;

- a) Bölgeye ait güncel hidrolik, jeolojik ve hidrojeolojik verilerin, hem literatür hem de yapılan arazi çalışmaları yardımıyla elde edilerek derlenip değerlendirilmesi,
- b) Bölgenin jeomorfolojik evriminin literatür yardımı ile incelenmesi ve koşulların göz önünde bulundurularak antik zamandaki jeolojik ve hidrojeolojik özelliklerinin değerlendirilmesi,
- c) Elde edilen verilerin öncelikle Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ortamında derlenip değerlendirilmesi,
- d) Derlenen ve değerlendirilen tüm veriler yardımıyla Olympos antik kenti yeraltısuyu kavramsal modellemesinin önce güncel sonra da antik döneme ait olarak hazırlanması,
- e) Oluşturulan kavramsal hidrojeolojik modellere dayanarak yeraltısuyu akım model simülasyonlarının (benzeşimlerinin) oluşturulması,
- f) Son olarak, güncel ve geçmiş dönem yeraltısuyu benzeşimleri ile elde edilen yeraltısuyu ve yüzeysuyu verilerinin karşılaştırılması adımlarını kapsamaktadır.

1.3. Tez Metninin Ana Hatları

Tezin birinci bölümünde tez çalışmasının gerekçeleri, amaç ve kapsamı ve tez metninin ana hatları verilmiş ve görsellerle desteklenmiştir.

İkinci bölümde, çalışılan bölgenin coğrafi konumu, tarih sahnesindeki yeri ve önemi, jeolojik bilgileri verilmiştir. Jeolojik bilgilerin içerisinde Mozaikli Yapı'yı da içine alan çalışma sınırları içerisindeki alana ait stratigrafi verilmiş olup, hem de Olympos havzasına ait genel jeoloji incelenmiş ve havzanın Antalya Birliği içerisindeki yeri değerlendirilmiştir.

Tez çalışmasının üçüncü bölümünde öncelikle Olympos ve Çıralı'nın jeomorfolojik evrimleri incelenmiştir. Bölgeyi etkileyen jeodinamik süreçler içerisinde, son 6000 yılda yükselerek değişimini sürdüren deniz seviyesi hakkında bilgiler değerlendirilmiş, bölgenin geçirdiği tektonik değişimler de göz önünde bulundurularak, Olympos antik kentinin eski zamanlardaki tahmini jeomorfolojik haritası

oluşturulmuştur. Altıncı bölümde oluşturulacak sayısal akım modelleri için kavramsal olarak modeller ve yatay kesitler hazırlanmıştır.

Dördüncü bölümde sayısal akım modeli oluşturma işlemleri hakkında bilgiler verilmiştir. Öncelikle yeraltısuyu akım denklemi tanıtılmış, daha sonra MODFLOW, MODFLOW-2000 ve GMS yazılımları hakkında bilgiler ve terimler verilmiştir. Ardından GMS yazılımı içerisinde kavramsal modelin nasıl oluşturulacağı, kapsam (coverage) üretilmesi, grid ağlarının oluşturulması, topografa verilerinin girilmesi, hidrojeolojik parametrelerin kavramsal modele eklenmesi hakkında bilgiler verilmiştir.

Beşinci bölüm, veri ve veri üretim yöntemlerini içermektedir. Yapılan yeraltısuyu akım modellemesinde kullanılacak veriler, derlenen veriler ve üretilen veriler olarak iki başlık altında toplanmıştır. Derlenen veriler, literatür yardımıyla bulunan ve başka bir deyişle kabul edilen veriler olup, üretilenler ise gerek arazi çalışmalarında, gerekse CBS ortamında üretilen verileri kapsamaktadır. Verilerin tamamı tablolar halinde verilmiş, nasıl elde edildikleri belirtilmiş, grafiklerle gösterimleri yapılmış ve araziden alınan görseller ile desteklenmiştir.

Altıncı bölümde, model ve benzeşimlerin (simülasyon) üretim aşamasına geçilmiştir. Bölüm genel olarak güncel dönem ve geçmiş dönem olarak iki ayrı aşamada çalışılmıştır ve tez kapsamında üretilen tüm modeller kararlı (Steady State) durumda çalıştırılmıştır. Güncel dönem için üretilen sayısal modelde gözlem verileri kullanılarak kalibrasyon işlemi yapılmıştır. Geçmiş dönemler için iki farklı zamana ait sayısal modeller üretilmiştir.

Son bölüm olan yedinci bölümde tez çalışmasında elde edilen başlıca sonuçlar ve kullanılan yöntemler özetlenmiş, daha sonra yapılacak çalışmalar için öneriler sunulmuştur. Sonuçlar dahilinde elde edilen veriler birbirleriyle karşılaştırılmış ve grafiklerle desteklenerek yorumlanmıştır.

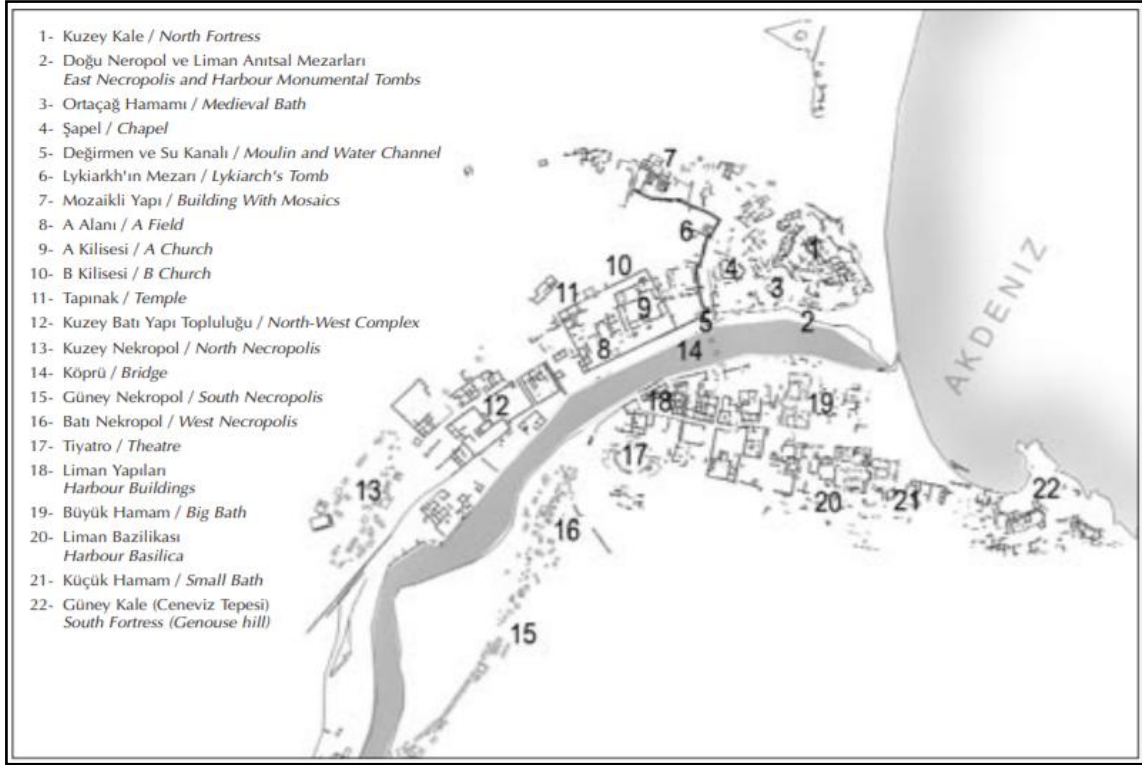
2.2. Tarihçe

Olympos, kökeni Girit'ten gelen Lykia (günümüz adıyla Likya) Birliğinin önemli bir kentidir. Likya haritasıyla birlikte, Olympos'un tarihte bulunduğu konumunun haritası Şekil 2.2'de verilmiştir. Likya yerleşiminin ilk olarak M. Ö. 1400'lü yıllarda Giritliler tarafından Sarpedon'un liderliğinde kurulduğu kabul edilmektedir. Hititlerden sağlanan kaynaklar doğrultusunda tarihte ilk kez adları Lukka halkı olarak anılmıştır (Bean, 1997, s. 22-23). Strabon'un belirttiği üzere Lykia Birliği içerisinde oy verme hakkına sahip 23 şehrin var olduğu bilinmektedir ve Olympos kenti tarih sahnesine Likya Birliğinin üç oy kullanma hakkına sahip en önemli altı kenti arasında yer alarak çıkmaktadır.



Şekil 2.2. Olympos kentinin tarihi Likya Birliği içerisindeki konumu (Olçay Uçkan ve Evcim, 2015, s. 15).

Antik Olympos kentinin yerleşim planı Şekil 2.3'de verilmektedir. Kentin antik zamana ait rekonstrüksiyon görüntüsü Şekil 2.4'te verilmiştir.



Şekil 2.3. Olympos antik kenti yerleşim planı (Olca Uçkan, Mergen ve Uğurlu, 2006, s. 126).



Şekil 2.4. Olympos antik kenti rekonstrüksiyonu, bakış kuzeybatından (http-1'den düzenlenmiştir).

Kent modeli görüntüsü Şekil 2.5’de, Olympos antik kentinin güncel durumunun Google Earth ile alınmış uydu görüntüsü Şekil 2.6’da verilmiştir.

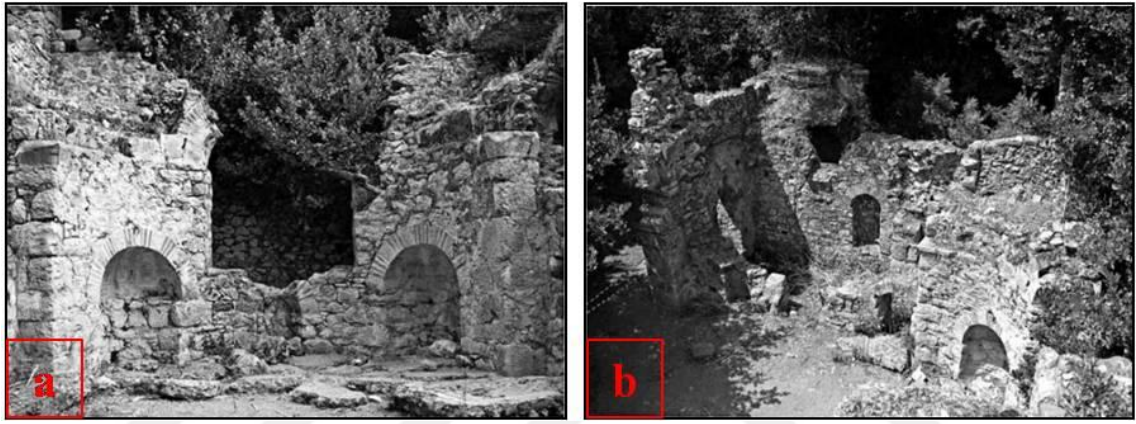


Şekil 2.5. Antik Olympos kent modeli, bakış kuzeybatıdan (Olca Uçkan ve Evcim, 2015).



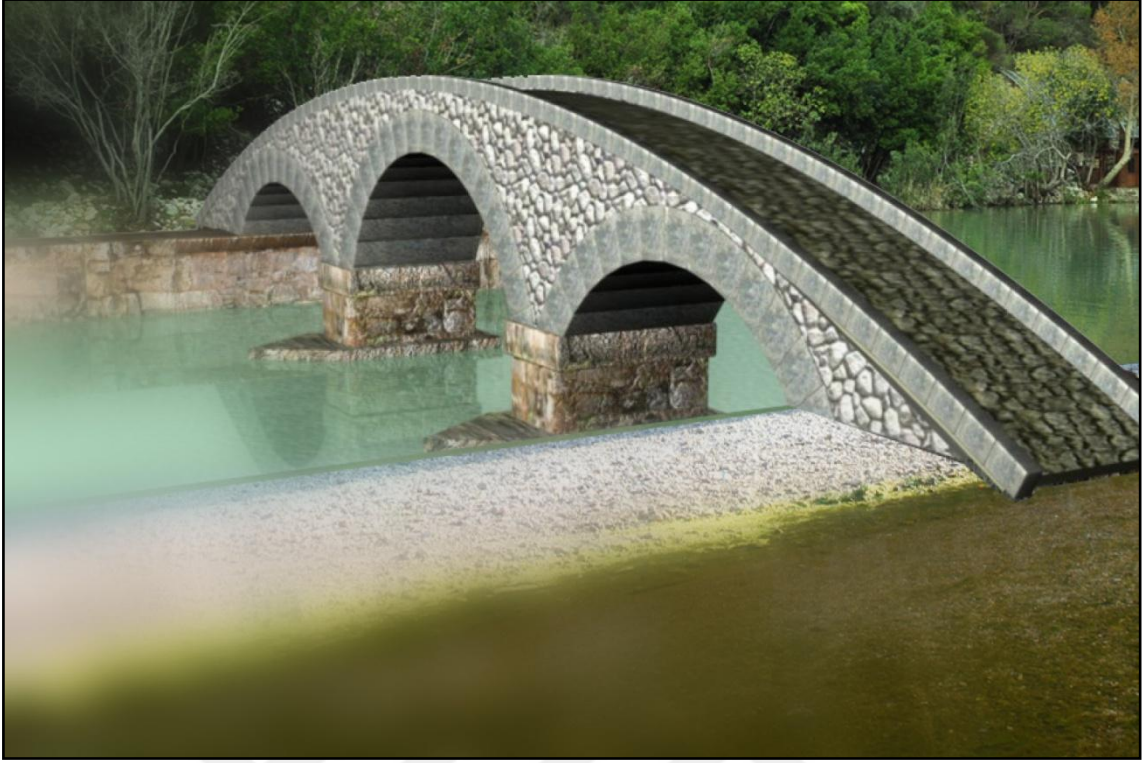
Şekil 2.6. Olympos antik kentinin günümüzde Google Earth ile alınmış görüntüsü, bakış kuzeybatıdan.

Günümüzde sular altında kalan Mozaikli Yapı inşasının M. S. 5. yy. sonunda başlayıp, M. S. 6. yy başına kadar sürekli eklemeler yapılarak yapının son şeklini aldığı düşünülmektedir. Mozaikli Yapı zemin kat plan şeması bakımından arkeologlar tarafından hamam yapılarına benzetilmektedir (Peschlow Bindokat, 2005; G. K. Öztaşkın ve M. Öztaşkın, 2009). Bu durum Mozaikli Yapı'nın öncesinde bir hamam yapısı olduğunu ve 5. yy. sonunda yapının tekrar eski plana kısmen uydurularak tekrar inşa edilmiş olduğunu göstermektedir (G. K. Öztaşkın ve M. Öztaşkın, 2009). Mozaikli Yapı'ya ait iki görüntü Şekil 2.7 (a ve b)'de verilmiştir.



Şekil 2.7. *Olympos Mozaikli Yapı içerisi, bakış a) güneyden b) kuzeydoğudan (G. K. Öztaşkın ve M. Öztaşkın, 2009, s. 339).*

Roma Dönemi Köprüsü kuruluş tarihi ile ilgili olarak, ileriki bölümlerde yapılan modellemeler için dikkat edilmesi gereken bir husus olmuştur. Bu sebeple, bahsi geçen köprü hakkında kısa bir tarihi bilgi verilmesi gerekliliği doğmuştur. Köprüdeki onarım izlerinin incelenmesiyle köprünün iki farklı evreye sahip olduğu ortaya çıkmaktadır. İlk olarak Roma Dönemi'nde inşa edilen köprünün, kentte yaşanan yıkıcı depremlerden biri tarafından yıkılmış olduğu düşünülmektedir. Bu olay ile birlikte, kentin iki yakasının ulaşımı kesilmiş ve olasılıkla erken Hristiyanlık Dönemi'nde hızlı bir biçimde tekrar inşa edilmiştir (http-2). Şekil 2.8'de Olympos kentinde bulunan Roma Dönemi köprüsünün rekonstrüksiyon görüntüsü verilmiştir. Şekil 2.9'da da aynı köprünün günümüzde korunan köprü ayağı görüntüsü verilmiştir.



Şekil 2.8. *Olympos Roma Dönemi Köprüsü'nün rekonstrüksiyon görüntüsü (http-2).*



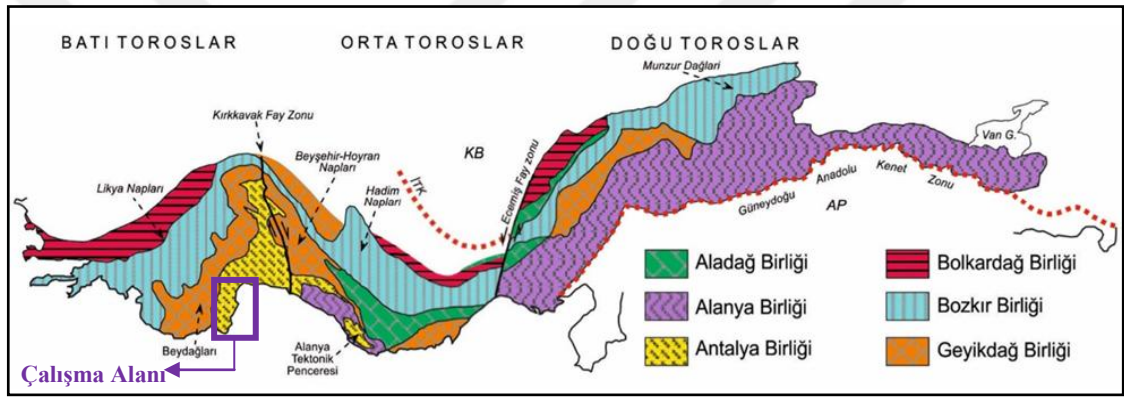
Şekil 2.9. *Günümüzde Roma Dönemi köprüsünden kalan köprü ayağının son durumu, bakış kuzeybatıdan.*

2.3. Jeoloji

Çalışma alanının içinde bulunduğu Toros kuşağının jeolojik özelliklerini belirlemek üzere birçok araştırmacı tarafından çeşitli temel çalışmalar yapılmıştır (Blumenthal, 1963; Brunn vd., 1971; Özgül, 1971, 1976; Özgül ve Arpat, 1973).

Günümüzde bölgeyle ilgili daha özel kapsamlı, arkeolojik, hidrojeolojik ve jeolojik çalışmalar devam etmektedir (İnan, 1985; Ersoy, 1990; Öztürk vd., 1995; Atilla ve Arıkan, 2001; Varol, Tekin ve Temel, 2007; Aksoy ve Aksarı, 2008; Softa ve Karaman, 2011; Özbek, 2014; Uslu, 2014; C. Yılmaz, 2014; Yalçın, Bozkaya ve Yılmaz, 2015; Gürboğa ve Aktürk, 2018).

Çalışma alanı; Ege kıyılarından başlayıp, Isparta bükümündeki Kırkkavak Fay zonuna kadar uzanarak Batı Toros kuşağı olarak adlandırılmış olan paleotektonik kuşak içerisinde bulunmaktadır. Şekil 2.10'da Torosları oluşturan bölümlerin ve napların basitleştirilmiş haritası, üzerinde çalışma alanının bulunduğu bölgeyi gösteren işaret ile birlikte verilmiştir.



Şekil 2.10. Torosları oluşturan bölümlerin ve napların basitleştirilmiş haritası (Işık, 2018).

Batı Toros kuşağı yapısal olarak büyük ölçüde Mesozoyik yaşlı karbonatlı kayalardan oluşan Beydağları otokton kütle, Likya (Teke ya da Elmalı diye de bilinir) Napları ve Antalya Naplarından oluşmaktadır (Şekil 2.10). Beydağları otoktonu batıda Likya Napları, doğuda ise Antalya Napları tarafından üzerlenmektedir.

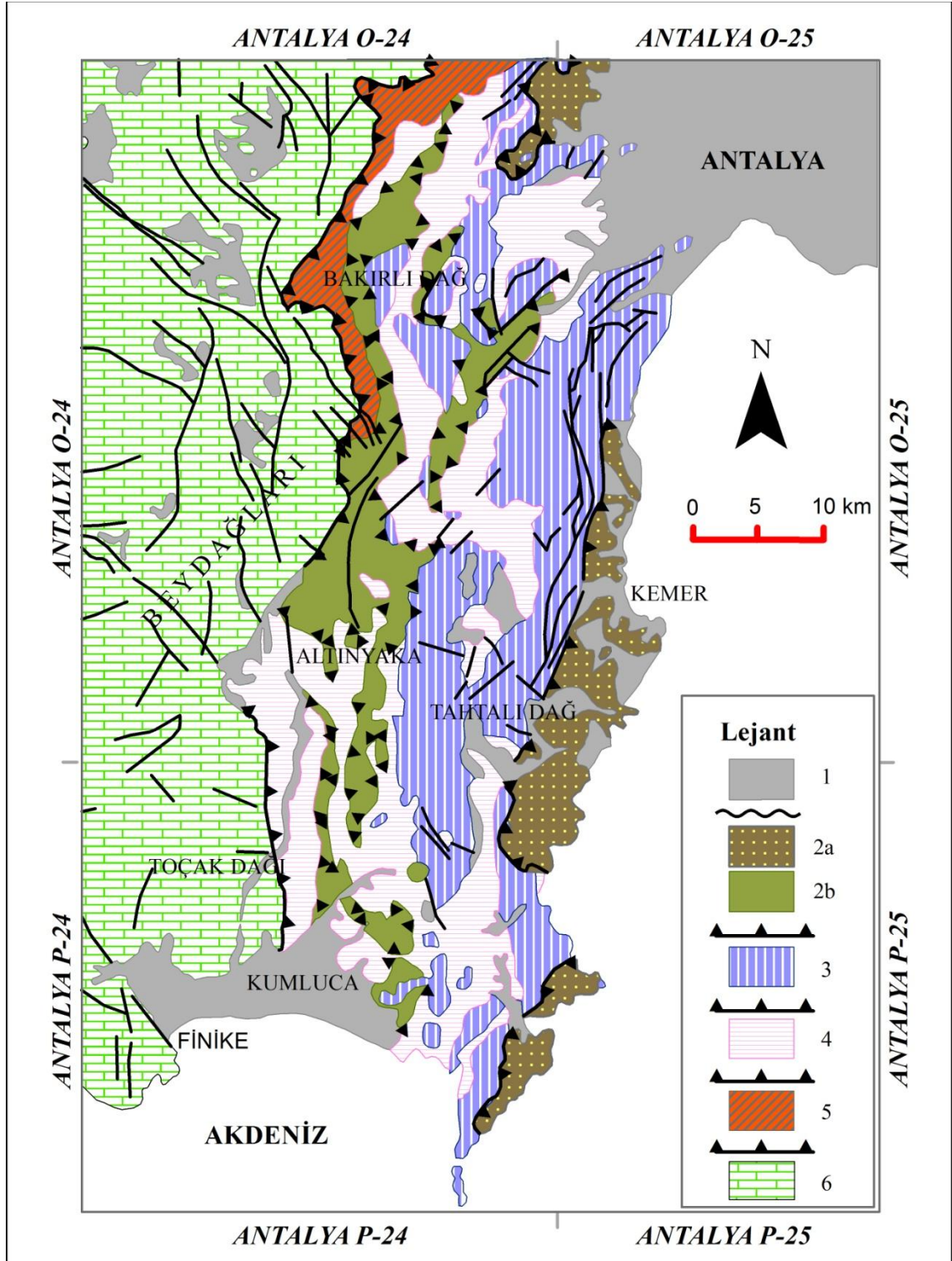
Antalya Naplarını oluşturan kayalar Antalya batısında ilk kez Lefevre (1967) tarafından Antalya Napları, Özgül (1976) tarafından Antalya Birliği, Woodcock ve Robertson (1977) tarafından Antalya Kompleksi olarak tanımlanmıştır (Yalçın, Bozkaya ve Yılmaz, 2015). Antalya Napları Brunn vd. (1971) tarafından; Robertson vd. (1980), Robertson ve Woodcock (1981) ile P. O. Yılmaz (1981) tarafından ve daha sonra Şenel vd. (1992), Şenel vd. (1996) ve Şenel vd. (1998) tarafından bölümlendirilerek tanımlanmıştır. Tez kapsamında kavram karışıklığı yaşanmaması için Şenel vd. (1992), Şenel vd. (1996) ve Şenel vd. (1998) tarafından yapılan bölümlendirme kullanılmıştır. Şenel vd. (1992), Şenel vd. (1996), Şenel vd. (1998)'in yaptığı bölümlenmeye göre Antalya Napları; Çataltepe Napı, Alakırçay Napı, Tahtalıdağ Napı

ve Tekirova Ofiyolit Napı olarak bölümlendirilmektedir (Yalçın, Bozkaya ve Yılmaz, 2015).

Antalya Napları, Kambriyen-Üst Kretase yaşlı platform, yamaç ve havza ortamında çökelmiş sedimanter birimler ile birlikte, Kretase dönemine ait okyanusal kabuk kökenli yapısal ve/veya tektonostratigrafik birimlerden oluşmaktadır (Şenel, 1997; Yalçın, Bozkaya ve Yılmaz, 2015).

Çıralı Koyu ve Olympos Havzasını çevreleyen jeolojik birimleri; (Kuvaterner yaşlı) alüvyon, (Kretase yaşlı) ofiyolitler, (Jura-Kretase yaşlı) kireçtaşı ve (Orta Triyas-Üst Triyas yaşlı) çörtlü kireçtaşları olarak sıralamak mümkündür (Şenel, 1997, 2002). Kretase yaşlı ofiyolitler, Tekirova Ofiyolit Napı'na; Jura-Kretase yaşlı kireçtaşı formasyonu, Tahtalı Grubu'na ve Orta Triyas-Üst Triyas yaşlı çörtlü kireçtaşı formasyonu ise Alakırçay Napı'na ait birimlerdir (Özgül, 1976). Antalya Napları yer yer karbonatlı birimler içermektedir; fakat çoğunlukla karbonatlı birimleri çevreleyen geçirimsiz birimlerden oluştuğundan Beydağları otokton kütlesiyle aralarında yeraltısuyu etkileşimi bulunmamaktadır (Çakır vd., 1999). Likya napları içerisinde tanımlanan, Olympos çevresine yakın Tersiyer yaşlı karbonatlı kırıntılı kayaçlar da mevcuttur. Beydağları otokton kütlesi ile allokton konumlu Likya naplarının ikisinin de karstik olmasına karşılık, her iki kütlenin de içinde bulunan karbonatlı birimlerin arasında Miyosen yaşlı kırıntılı çökellerin varlığı sebebiyle iki birim arasındaki yeraltısuyu akımının göz ardı edilebilir ölçüde olduğu bilinmektedir (Çakır vd., 1999). Likya naplarını oluşturan kireçtaşı ve kırıntılılar, çalışma alanının yakınında bulunsalar bile içinde bulunmamaktadır.

Şekil 2.11'de Antalya naplarının basitleştirilmiş görüntüsü verilmiştir.



Şekil 2.11. Antalya Birliği Napılarının coğrafi dağılımı (Şenel, 1997; C. Yılmaz, 2014'ten düzenlenerek yeniden çizilmiştir.): 1; Kuvaterner, 2; Tekirova Ofiyolit Napı, 2a; Kırkdirek Formasyonu (ofiyolitli melanj), 2b; Tekirova Ofiyoliti (okyanusal kabuk kayalar), 3; Tahtalıdağ Napı, 4; Alakırçay Napı, 5; Çataltepe Napı, 6; Beydağları Otoktonu.

2.3.1. Stratigrafi

Olympos havzası ve yakın çevresindeki jeolojik birimlerin başlıca özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

2.3.1.1. Orta Triyas-Üst Triyas yaşlı çörtlü kireçtaşları

Olympos havzasında bulunan Orta Triyas-Üst Triyas yaşlı çörtlü kireçtaşları, Antalya Napları içerisinde bulunan Alakırçay Grubu üyesidir. Bu grup genel olarak; Üst Triyas yaşta çakmaklı kireçtaşı, bitkili kumtaşı ve radyolaritleri; kireçtaşı arakatlı bazik denizaltı volkanitlerini, ofiyolitleri ve Üst Kretase yaşta kırıntılı kayaları kapsamaktadır (Özgül, 1976).

2.3.1.2. Jura-Kretase yaşlı kireçtaşı

Olympos havzasında bulunan Jura-Kretase yaşlı kireçtaşı birimi Tahtalı Dağ Grubuna ait bir birimdir ve Tahtalı Dağ Grubu, genel olarak Kambriyen-Kretase aralığında çökelmiş şelf türü karbonat ve kırıntılı kayaları kapsamaktadır. Bu özelliği ile adını Orta Toroslar'ın batı kısmında bulunan Geyik Dağı'ndan alan Geyik Dağı Birliğine yakinen benzetilmektedir (Özgül, 1976).

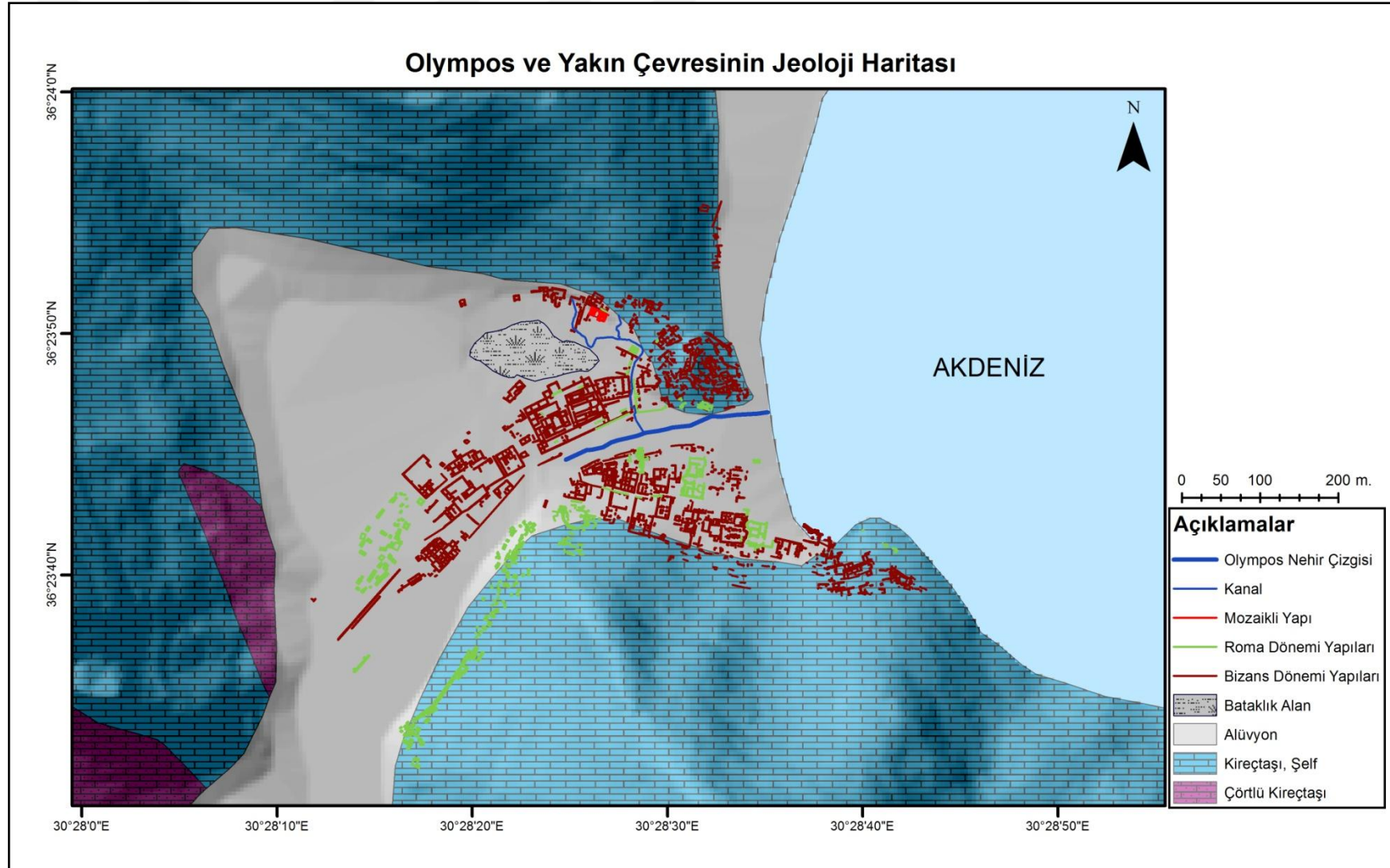
2.3.1.3. Kretase yaşlı ofiyolitler

Tekirova Ofiyolit Napı, Güneybatı Anadolu'da Antalya Napları'nın bir parçasıdır. Tekirova Ofiyolit Napı; yapısal olarak Tahtalı Dağı Napı'nın bazen üzerinde, bazen de altında değişik boyutta tektonik dilimler halinde okyanusal kabuk bileşenlerini içermektedir. Üst Kampaniyen-Maastrichtiyen'de kıtasal kabuğa bindirerek yerleşmiştir. Birimin gerçek kalınlığı kesin olarak ölçülememekle birlikte; 0-6000 m arasında değiştiği bilinmektedir (Yalçın, Bozkaya ve Yılmaz, 2015). Üst manto kökenli olan ofiyolit, Neotetisin güney koluna ait ve Üst Kretase yaşlı olduğu kabul edilmektedir. Antalya körfezinin batı kıyısında birbirinden ayrı yüzeylemeler halinde bulunur. Güneyden kuzeye doğru Adrasan, Çıralı-Tekirova ve Kemer masifleri olarak adlandırılan bu nap parçaları kuzeye doğru daha üst düzey ofiyolit kayaları içerir. Şenel (1997) tarafından Tekirova Ofiyolit Napı, ofiyolit ve ofiyolitli melanj olarak ikiye ayrılmıştır. Olympos havzası sınırlarında Üst Senoniyen yaşlı ofiyolitli melanj bulunmaktadır.

2.3.1.4. Kuvaterner yaşı alüvyon

Olympos Nehri ve karstik kaynaklardan beslenerek Çıralı Koyuna dökülen Ulupınar Deresinin taşıdığı Kuvaterner yaşı alüvyon Çıralı koyunu ve Olympos havzasını doldurmuştur. Alüvyonun başlıca kaynağı Ulupınar Deresinin getirdiği kiltası, silttaşı, kumtaşı ve konglomera birimleridir. İri taneli alüvyonlar yukarı lokasyonlarda bulunurlarken, denize doğru olan daha aşağıdaki lokasyonlarda ince taneli alüvyonlar bulunmaktadır.

Model alanı ve yakın jeolojisi, Olympos antik kenti yapıları ile birlikte Şekil 2.12’de verilmiştir. Şekil 2.12’de Olympos antik kentine yakın çevrenin jeolojisinin yanında, bölge içerisinde bulunan tarihi Roma Dönemi ve Bizans Dönemi yapıları ile şu an bataklık olarak bilinen, aynı zamanda antik dönemde göl olan bölge de beraberinde harita üzerinde verilmiştir. Mozaikli Yapı Bizans Dönemi yapısı olmasına rağmen, farklı renkle haritaya tekrar eklenerek gösterim kolaylığı sağlanmıştır. Jeoloji katmanının şeffaf olması sağlanmış böylelikle; harita altlığı olarak 5 m x 5 m çözünürlüklü Sayısal Yükseklik Modeli (DEM) haritasından üretilen kabartma (hillshade) haritası kullanılmıştır. Model sınırı olarak kuzeyde alüvyon akiferi ile karst akiferi arasındaki sınır, güneyde Olympos Nehir çizgisi referans alınmıştır.



Şekil 2.12. Olympos ve yakın çevresinin jeoloji haritası.

3. HİDROJEOLOJİK KAVRAMSAL MODELİN OLUŞTURULMASI

Bölgenin eski, antik dönem ve güncel yeraltısuyu koşullarının belirlenmesi için bölgeyi etkileyen jeodinamik süreçlerin incelenmesi gerekmektedir. Hidrojeolojik Kavramsal Modelin Oluşturulması bölümü, Olympos'u etkileyen jeodinamik süreçlerin incelenmesi ve bulguların kavramsallaştırılması başlıklarında incelenmiştir.

3.1. Olympos'u Etkileyen Jeodinamik Süreçlerin İncelenmesi

Olympos'u etkileyen jeodinamik süreçlerin başında tektonizma, deniz seviyesi değişimleri ve bu iki parametredeki değişimlere bağlı olarak bölgenin jeomorfolojik evrimi gelmektedir.

3.1.1. Tektonizma

Yalıtaşları buzul ve buzullar arası dönemlerden ziyade yakın geçmişe yönelik deniz seviyesi tespitinde zaman geçtikçe daha büyük bir öneme sahip olmaktadır.

Yalıtaşı terimi, dar anlamda, tropikal ve subtropikal, daha kısıtlı olarak da ılıman bölgelerin kıyılarında yer alan gevşek depoların kireçli bir çimento ile tutturulması sonucu meydana gelen kumtaşı veya çakıлтаşı özelliğindeki yeni oluşuklar için kullanılmaktadır (Avşarcan, 1997).

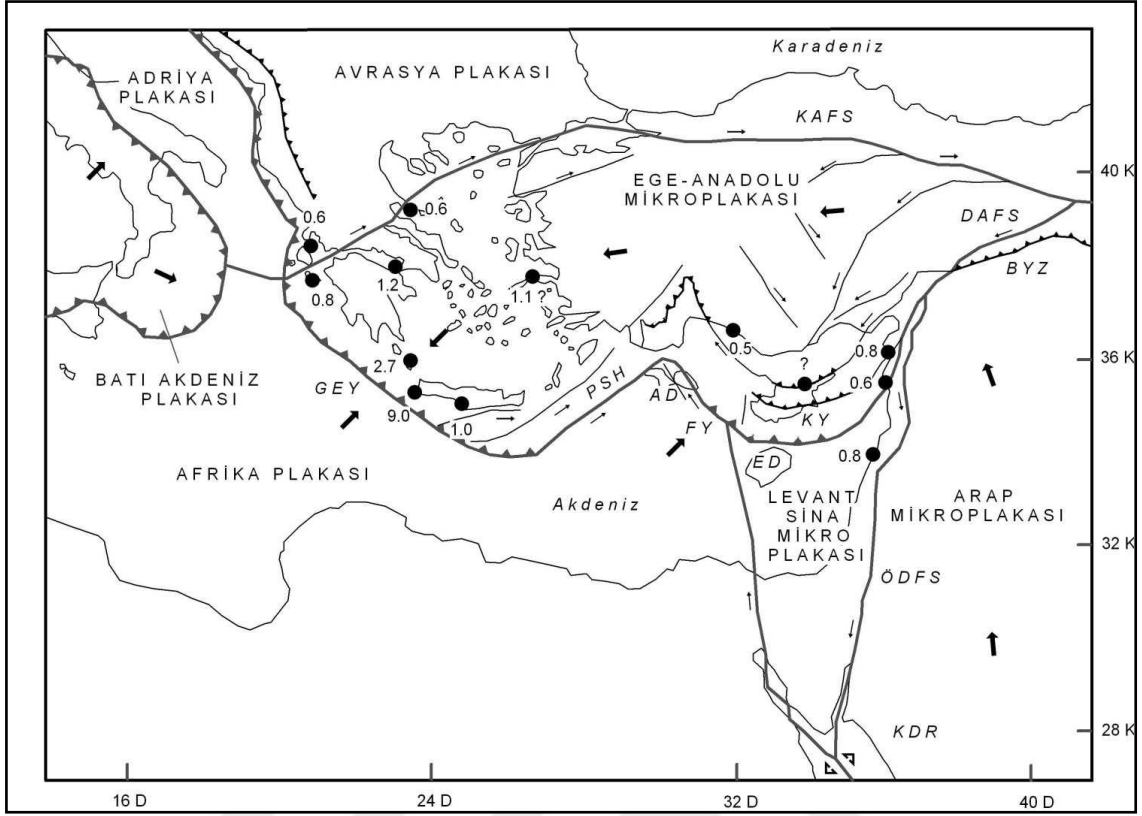
Çiner vd. (2009) tarafından yapılan çalışma kapsamında, yalıtaşlarında ve arkeolojik yerleşimlerde yapılan gözlemler ve yaş ölçümleri ile dalga aşındırma düzlüklerinde ve oyuklarında daha önce yapılan çalışmalardan derlenen ^{14}C yaşları aracılığıyla Türkiye'nin Akdeniz kıyısında gözlenen deniz seviyelerinin 5000 yıllık değişimi ortaya konulmuştur. Bahsedilen çalışma içerisinde, çalışma alanı yalıtaşları ve dalga aşındırma düzlüklerinin denizaltı veya deniz üstünde bulunduğu konumlar göz önüne alınarak 5 bölgeye ayrılmıştır ve Olympos antik kenti, bu bölgeler içerisinde II. Bölge (Finike-Antalya-Çımtur) içerisinde yer almıştır. Çalışmanın sonunda yalıtaşlarının yaşlandırılmasıyla birlikte, II. Bölge'nin içerisinde kıyı boyunca, su altında ve su üstünde olmak üzere 3 ayrı nesle ait yalıtaşlarının barındığı ve üstte olanının M. S. 4-7. yy arasında bugünkü konumuna ulaştığı ifade edilmiştir. Bu da bölgedeki deniz seviyesinin M. S. 4-7. yy zaman aralığında sabitlendiği anlamını taşımaktadır.

Diğer yandan aynı çalışmada (Çiner vd., 2009) Finike-Antalya-Çımtur arasında kalan bölgenin güncel deniz seviyesine M. S. 4-7. yy zaman aralığında ulaştığı ifade edilse de, Adrasan Körfezi'nde 0-1 m deniz altında bulunan yalıtaşları ve Olympos ile Faselis antik şehirlerindeki liman yapılarının denizin 0.5 m altında bulunmaları

sebebiyle bu bölgelerde yaş tayini yapılamadığı ve bölgenin Roma dönemi sonrası meydana gelen depremlerden etkilenmiş olabileceği belirtilmiştir.

Erken Bizans Tektonik Paroksizması (EBTP) kavramsal olarak ilk kez Pirazzoli (1986) tarafından tanımlanmış olup, bu konudaki en çok çalışma yine kendisine aittir. EBTP, Yunanistan yarımadasından Lübnan'a kadar uzanan yaklaşık olarak 1500 km.lik mesafede M. S. 4. yüzyılın ortaları ile 6. yüzyılın ortaları arasında 200 yıllık zaman diliminde gerçekleşen, bazı kıyı çizgilerinin çoğunlukla 0.5 – 1.0 m arasında yükseldiği, yoğun sismik aktiviteyi tanımlamaktadır (Pirazzoli, 1986). Geç Kuvaterner'deki benzeri olmayan EBTP'nin nedeni, Pirazzoli (1986) tarafından Afrika ve Avrasya levhalarının ani yaklaşımı, buna katılan Arabistan ve Anadolu levhalarının göreceli hareketleri ve Güney Ege ada yayının (Hellenic Arc) altındaki okyanusal kabuktaki bindirme olarak belirtilmiştir.

M. S. 4. ve 6. yy arasında oluşan depremler sonrası yükselen kıyı çizgileri Yunan adalarından Kefalonya ve Zakintos'ta, Korint Körfezi'nde, Lechaion ve Perachora yarımadalarında, Teselya'nın Pelion bölgesinde, Güney Ege'deki Sikliye'de (Antikitera) ve Girit adasının batı yarısında, Alanya ve Hatay'da, Suriye ile Lübnan'ı kapsamak üzere İsrail dışında tüm Levant boyunca, litoral zonda gelişen biyolojik kıyı şekillerinden elde edilen örnekler üzerinde çok sayıda radyokarbon tarihlemesi yapılarak tespit edilmiştir (Pirazzoli, 1996'dan aktaran Bekaroğlu, 2008, s. 10). Yükselen bu kıyılar, yükselme değerleriyle birlikte Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Doğru Akdeniz ve çevresinin basitleştirilmiş tektonik haritası (Aksu, Hall ve Yaltırak, 2005'den düzenleyen Bekaroğlu, 2008) ile EBTP sırasında yükselmiş kıyı çizgilerinin (çeşitli kaynaklardan) bulunduğu lokaliteler (siyah noktalar) ve yükselme değerleri (metre olarak).

Şekil 3.1'deki harita üzerindeki kısaltmalar ve açıklamaları aşağıda verilmiştir:

AD	:Anaksimander Dağları,
BYZ	:Bitlis Yitim Zonu,
DAFS	:Doğu Anadolu Fay Sistemi,
ED	:Eratosthenes Denizdağı,
FY	:Florans Yükselimi,
GEY	:Güney Ege Yayı,
KAFS	:Kuzey Anadolu Fay Sistemi,
KDR	:Kızıldeniz Rifti,
KY	:Kıbrıs Yayı,
PSH	:Plinty-Strabo Hendekleri,
ÖDFS	:Ölüdeniz Fay Sistemini temsil etmektedir.

Büyük oklar levhaların hareket yönlerini, küçük oklar ise fayların atım yönlerini göstermektedir.

Türkiye'de Alanya ve Hatay bölgelerinde EBTP döneminde gerçekleşen yükselmeler tespit edilmiştir. Alanya bölgesinin 20 km kadar batısında yer alan Fığla

Burnu ve Malta Burnu civarındaki kıyılarda bulunan bugünkü deniz seviyesinden 0.5 – 1.3 metre yüksekteki kıyı izi Kelletat ve Kayan (1983) tarafından araştırılmış ve kalkerli alglerin tarihlenmesi yöntemiyle kıyı çizgisinin yükseliminin günümüzden 1550 yıl önce neo-tektonik bir hareketle meydana geldiği tespit edilmiştir. Hatay bölgesi ile ilgili olarak ise, Asi Nehri deltasının her iki yanında da gözüken iki kıyı çizgisi geç Holosen’de iki hızlı yükselmeyi temsil etmektedir (Şekil 3.2). Üstteki kıyı çizgisi deltanın güneyinde yaklaşık +2 metrede iken, deltanın 2 ile 8 km kuzeyine doğru gidildikçe +2.5 metreden +3 metreye kadar değişmektedir. Bu kıyı çizgisinin radyokarbon yöntemiyle yaşlandırılması yapılmış ve yaşı 2595 ± 100 – 5170 ± 190 aralığında bulunmuştur. Diğer yandan, alçaktaki ikinci kıyı çizgisi ise yaklaşık 0.7 metre – 0.8 metre arasında bulunmaktadır. Tarihlendirme işleminde kullanılan oyster kavkıları yardımıyla incelenen bölgenin sismotektonik bir olayla (muhtemelen M. S. 526 Antakya depremi), 0.7 – 0.8 metre yükseldiği belirtilmiştir. Bu sebeple sözü geçen kıyı çizgisinin değişimi EBTP dönemi içerisinde yer almaktadır (Pirazzoli vd., 1993).



Şekil 3.2. Hatay kıyılarına ait yükselmiş deniz seviyelerini gösteren bir görüntü (Pirazzoli vd., 1993).

Şekil 3.2’de üst üste üç biyolojik oluşumlu rim verilmiştir. +3 metredeki A çizgisi günümüzden 2595 ± 100 yıl önceye tarihlenmiştir. B, +0.8 metrededir, C ise sıfır çizgisidir.

Neotetis Okyanusu’nun son kalıntısı olan ve Geç Kretase’den beri kapanmakta olan Doğu Akdeniz’in tektonik çerçevesi, hem Afrika ile Ege-Anadolu mikroplakası, hem de Arabistan mikroplakası ile Avrasya plakası arasında konverjans tarafından

kontrol edilir (Aksu, Hall ve Yaltırak, 2005; Bekaroğlu, 2008). Plaka tektonizması incelendiğinde Arabistan mikrolakasının Avrasya plakasına doğru kuzey-kuzeybatı doğrultusunda yılda yaklaşık 18-25 mm hızla hareket ettiği, Afrika plakasının Ege-Anadolu mikrolakasına doğru kuzey-kuzeydoğu doğrultusunda yılda 10 mm hareket ettiği hesaplanmıştır (McClusky vd., 2000; Aksu, Hall ve Yaltırak, 2005; Bekaroğlu, 2008).

Arabistan mikrolakası ile Avrasya plakasının Bitlis yitim zonunda olan Geç Miosen'deki çarpışmaları, Ege – Anadolu mikrolakasının batı yönlü (daha sonra oluşan Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu Transform fayları boyunca) hareketine neden olmuştur. Batıda Adriya plakasıyla sınırlanan Ege-Anadolu mikrolakasının hareket yönü Güney Ege Yayı (Hellenistic Arc) doğrultusunda değişir. Ege-Anadolu mikrolakasının batı-günaybatıya hareketi, hem Arabistan mikrolakasının kuzey-kuzeybatı yönlü hareketi (McClusky vd., 2000; Bekaroğlu, 2008) hem de Güney Ege Yayı altında kalan Afrika plakasının üzerindeki Ege-Anadolu mikrolakasını çekmesiyle meydana gelir (Mart, Ryan ve Lunina, 2005; Faccenna vd., 2006; Bekaroğlu, 2008).

Pirazzoli (1986) Doğu Akdeniz'deki EBTP sırasında yükselmiş kıyı çizgilerinin oluşumunu Güney Ege Yayı'nda meydana gelen büyük bir dalma-batma depremiyle ilişkilendirmektedir (Pirazzoli, 1986; Jackson, 1994; Bekaroğlu, 2008). En az 13 milyon yıldır devam eden buradaki dalma-batma olayının Ege Bölgesi'ndeki genişleme rejimini kontrol ettiği bilinmektedir. EBTP sırasında Afrika plakası ile Ege-Anadolu mikrolakası arasında meydana gelen ani tektonik yaklaşmanın, dalan okyanusal Afrika plakasının Güney Ege Yayı altında yaptığı ani bindirmeyle meydana geldiği ve sonuçta Doğu Akdeniz havzasının daraldığı ifade edilmektedir. Burada serbest kalan büyük enerji, Doğu Akdeniz'i sınırlayan çeşitli litosfer bloklarını hareketlendirerek yeniden düzenlenmelerine (readjustment) neden olmuştur (Pirazzoli, 1986, 1996; Bekaroğlu, 2008).

Çiner vd. (2009)'in çalışmasında da bahsettiği üzere, Olympos bölgesindeki tektonik yükselmenin, M. S. 4-7. yy arasında gerçekleşen EBTP sırasında olduğu düşünülmektedir.

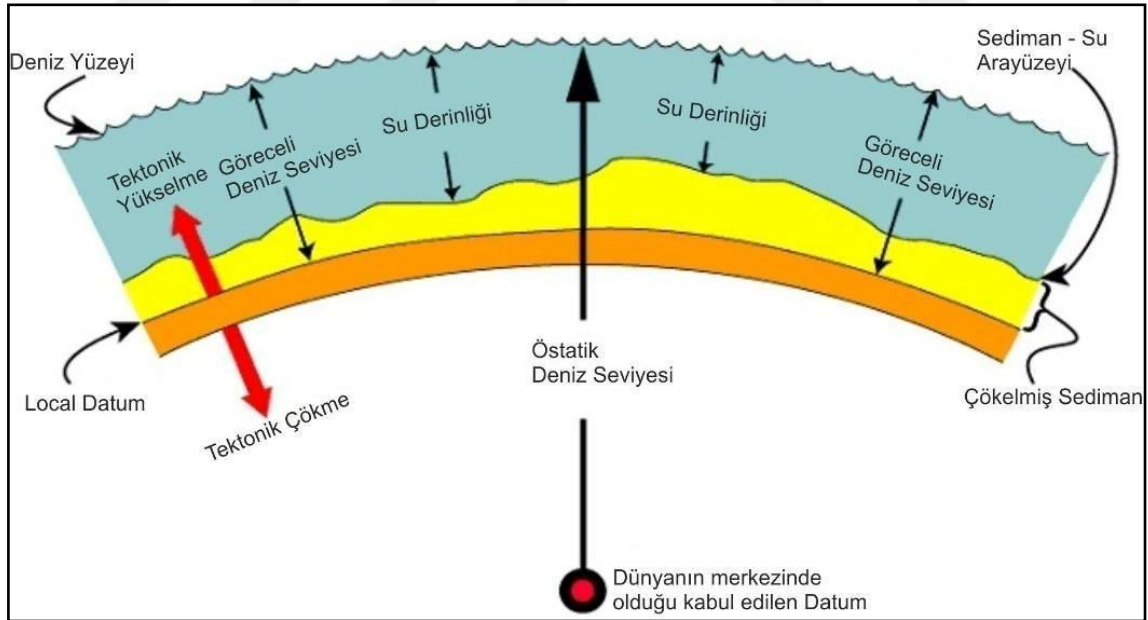
3.1.2. Deniz seviyesi değişimleri

Deniz seviyesi değişimlerini iki başlık altında toplamak mümkündür. Bunların birincisi östatik deniz seviyesi değişimi ve ikincisi ise rölatif (bağıl) deniz seviyesi değişimidir. Östatik deniz seviyesi; dünyanın merkezinde var olduğu kabul edilen bir datum noktasına göre deniz yüzeyinin hareketinin bir fonksiyonudur. İklim kontrolünde gelişen ve hidrolojik döngüde meydana gelen bir süreçtir (Bekaroğlu, 2008). Deniz seviyesi denizleri dolduran su kütesinin yüzeyidir ve bu sebeple yüzeyin seviye değişimleri öncelikle su kütesinin hacmi ile ilgilidir. Bunu kontrol eden en önemli etken, öncelikle iklim değişmeleridir. İklimde soğuma olursa, denizlerden ve karalardan buharlaşan sular yüksek enlemlerde geniş ve kalın buzul örtüleri oluşturur; buharlaşarak buzul formuna dönen su denizlere geri dönemez ve böylelikle deniz seviyesi alçalır. Sıcak dönemlerde ise bir önceki durumun tam tersi olarak geniş ve kalın buzul örtülerinin erimesiyle oluşan sular denizlere döneceği için deniz seviyesi yükselir (Kayan, 2012).

Okyanus havzalarının hacmi ve su miktarı sabit kalsa bile, deniz suyunun yoğunluğunun tuzluluk, sıcaklık ve basınç farklılıkları nedeniyle değişmesiyle deniz seviyesi değişebilir. Sıcaklık arttığında yoğunluk azalır, tuzluluk ve basınç arttığında yoğunluk da artar. Daha yoğun su kütesi daha az hacim kaplar ve deniz seviyesi alçalır. Kayan (2012) tarafından verilen örnek, 4000 m.lik bir su sütununda 1°C'lik sıcaklık artışının 60 cm.lik yükselmeye neden olacağı şeklindedir. Ya da % 0.4'lük bir tuzluluk değişiminin de 1°C etkisi yapacağı belirtilmiştir. Okyanusal alanlarda bu derece büyük bir tuzluluk değişiminden ziyade sıcaklık değişiminin mümkün olduğu yine Pirazzoli (1996) ve Kayan (2012) tarafından açıklanmıştır. Son buzul çağında büyük miktarda tatlı su buzullarda toplandığı için okyanuslarda kalan suyun tuzluluğu (% 3.5 kadar) artmış, yaklaşık % 36'ya gelmiştir. Bu da son buzul dönemindeki deniz tuzluluğunun ve doğal olarak da deniz suyu yoğunluğunun şimdiki zamandan daha fazla olduğu anlamına gelmektedir (Fairbridge, 1961; Kayan, 2012). Diğer yandan, östatik deniz seviyesinin tüm dünyada eşit olmadığı ve bu seviyenin dünyanın şekli olan geoide benzemediği de bilinmektedir. Graviteyi etkileyen güneşe uzaklık, eksen salınımları gibi astronomik özellikler ve magmanın litosfer altında yer katmanlarındaki (özellikle mantodaki) yoğunluk farklılıkları nedeniyle deniz yüzeyleri her yerde yerin merkezinden eşit uzaklıkta değildir; dolayısıyla ideal bir elipsoid ve yerin özel şekli olan geoidden farklı bir yüzey (equipotential surface) olarak göz önüne alınır. Sonuç

olarak, mantodaki magmaya göre, akışkanlığı daha fazla olan suyun gravitasyonal farklılıklara daha kolay uyması nedeniyle, okyanuslardaki su yüzeyi geoidden farklıdır (Kayan (2012)).

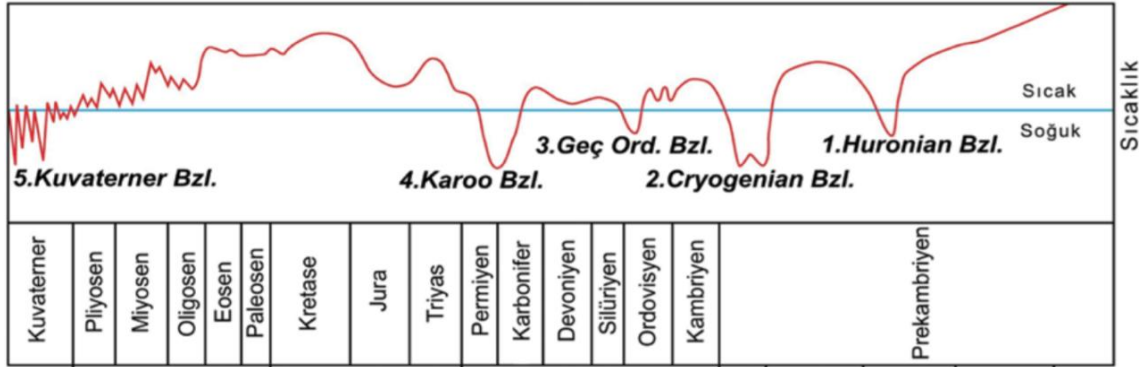
Rölatif, diğer anlamıyla bağıl deniz seviyesi değişimi ise; denizin kara seviyesine bağlı olarak değişmesi anlamına gelmektedir. Bunun en önemli sebepleri iki şekilde açıklanabilir. Bunlardan ilki tektonizma ve ikincisi ise izostasidir. Tektonizma kıtasal kabuk üzerinde gerçekleşebileceği gibi, okyanusal kabuk üzerinde de gerçekleşebilir. Böylelikle sadece bölgesel olarak deniz seviyesi değişimi yaşanır. İzostasi kavramı ise; Yunanca *iso* ve *statis* kelimelerinden türetilmiştir ve “eş duruş” anlamı taşımaktadır. İzostasi terimi ile yerkabuğunun magma ile arasındaki denge durumu açıklanmaktadır. İzostasinin mümkün olan birden fazla türü bulunmaktadır. Litosfer yüzeyine yüklenen çok miktarda yük ile bu deformasyon yaşanabilir. Böyle bir yük buzullarla, volkanizmayla, sedimantasyonla veya su ile mümkün olabilir. İzostasinin sebebi ne olursa olsun, sonuçta alçalan veya yükselen kabuk litosfer ve magma arasındaki dengeyi sağlamaktadır (Kayan, 2012). Şekil 3.3’te östatik ve bağıl deniz seviyesini sembolik olarak gösteren şema (İde, 2011) verilmiştir.



Şekil 3.3. Östatik ve bağıl deniz seviyesi değişiminin şematik gösterimi (Kendall ve Lerche, 1988'den düzenleyen İde, 2011).

Pirazzoli (2005), Doğu Akdeniz’de yaptığı araştırmalarında bu bölgelerde izostasi kaynaklı bir deniz yükselmesinin bulunmadığını belirtmiştir.

Günümüze göre daha sıcak koşullara sahip olunan geçmiş çağlarda, beş büyük buzullaşma dönemi yaşandığı bilinmektedir. Bu dönemler, sırasıyla; Huronian (~2200 milyon yıl), Cryogenian (710 – 640 milyon yıl), Geç Ordovisiyen (440 – 460 milyon yıl), Geç Karbonifer (290 – 300 milyon yıl, Karoo Buzullaşması olarak da bilinir) ve son olarak Kuvaterner (2.588 milyon yıl – günümüz)’de gerçekleşmiştir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Yerkürenin yüzey sıcaklığının jeolojik tarih boyunca değişimi (Saltzman, 2002, s.6'dan düzenleyen Çiner ve Sarıkaya, 2013).

Şekil 3.4'te mavi çizgi güncel sıcaklık değerini temsil etmektedir ve mavi çizginin altı güncel sıcaklıktan daha soğuğu, üstü ise daha sıcaklığı ifade etmektedir. Jeolojik zaman ekseninde herhangi bir ölçek kullanılmamıştır.

Buzulların belirli aralıklarla maksimum seviyelere ulaşması ile buzul dönemleri (glacial), nispeten daha sıcak dönemlerde geri çekilmeleri ile de ara buzul (interglacial) dönemleri oluşmaktadır (Çiner ve Sarıkaya, 2013).

Yeryüzünde başlangıçtan bu yana yaşanan beş büyük buzul çağı kadar büyük olmasa da, Pleyistosen boyunca yaşanan dört ana buzul dönemi mevcuttur. Günz, Riss, Mindel ve Würm olarak bilinirler. Würm buzul döneminin sona ermesiyle birlikte, bugün de içinde bulunduğumuz Holosen olarak isimlendirilen jeolojik devir başlamıştır. Holosen, insanlık kültür tarihi bakımından özel bir önem taşıdığı için Kuvaterner'in ayrı bir zaman dilimi olarak belirlenmiştir ve yaklaşık son 11.7 bin yıllık süreyi kapsayan bu çağ, buzullararası bir çağ olarak değerlendirilebileceği gibi, buzul sonrası (postglacial) bir dönem olarak da değerlendirilebilmektedir (Kayan, 2012).

Kuvaterner'deki iklimsel değişiklikler, küresel hidrolojik döngüde önemli değişimler yaratarak soğuk dönemlerde düşük deniz seviyeleri, sıcak dönemlerdeyse rölatif olarak yüksek deniz seviyelerinin oluşmasına sebep olmuştur (Bekaroğlu, 2008). Bu dönemde, diğer buzul dönemlerine benzer şekilde, suların kara buzullarında

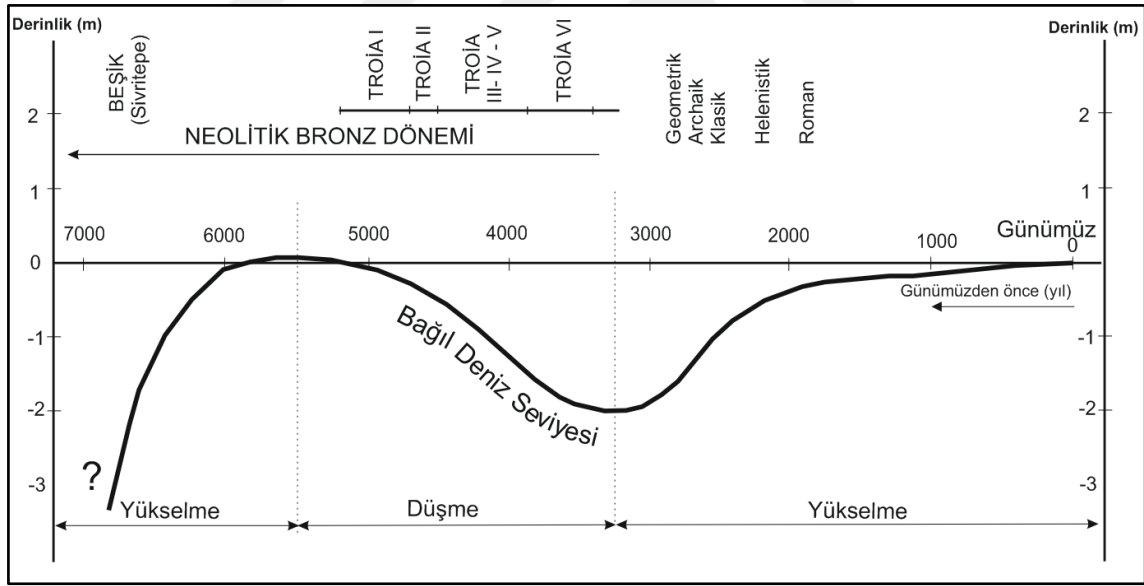
toplanmasının sonucu olarak, yaklaşık 21 bin yıl önce oluşan LGM (Last Glacial Maximum) olarak da adlandırılan Würm buzul döneminin en soğuk olduğu zaman deniz seviyesinin küresel ölçekte 130 – 135 metre kadar düştüğü tahmin edilmektedir (Yokoyama vd., 2000; Lambeck, Esat ve Potter, 2002; Peltier, 2002; Kayan, 2012; Lowe ve Walker, 2015). Bu durumun tam tersi olarak ise Würm'ün başlangıcıyla biten Son İnterglasyal (~130 – 115 bin yıl arası) esnasında dünyadaki ortalama sıcaklığın şimdikine çok benzer olarak yaklaşık 5°C daha sıcak olduğu bilinmektedir (Andersen vd., 2004; Lowe ve Walker, 2015) ve bu dönemden itibaren Holosen başlangıcına kadar olan yaklaşık 120 bin yıllık dönem ele alındığında Son İnterglasyal sırasında küresel deniz seviyesinin bugünkü deniz seviyesi civarında olduğu (günümüzden 5.5 – 9 metre fazlası) gösterilebilir (Dutton ve Lambeck, 2012). Holosen'de iklimdeki ısınmaya bağlı olarak eriyerek küçülen buzul kütlelerinden denizlere çok büyük hacimde su dönmüştür (Bekaroğlu, 2008). Bu nedenle -135 metrelere kadar çekilen küresel deniz seviyesi, Erken Holosen'de yükselmiş ve günümüzden ~7000 – 6000 yıl önce bugünkü seviyesine ulaşmıştır. Bu süreç, bu zaman aralığı sonrasında daha yavaş olarak devam etmiştir.

Holosen'deki deniz seviyesi değişimlerini gösteren, dünya kıyılarının hemen her yerine yakın yapılan çalışmalarda sayılamayacak kadar çok ve birbirinden farklılıkları olan eğriler elde edilmiştir (Kayan, 2012). Kayan (2012), bu eğrilerin üst üste konularak ortalama bir eğri oluşturulamayacağını, ayrı ayrı değerlendirilmeleri gerektiğini belirtmektedir. Araştırmalar sonucu elde edilen eğriler kullanılarak deniz seviyesi değişme modellerinin bir arada toplandığı atlaslar hazırlanmış ve yayınlanmıştır (Pirazzoli ve Pluet, 1991; Kayan, 2012). Kayan (2012)'a göre bu modeller sistematik olarak değerlendirilip 3 grupta toplanmıştır.

1. Brückner vd. (2010) tarafından ifade edilen model; deniz seviyesinin 6000 yıl kadar önce bugünkünden birkaç metre alçakta bir seviyeye ulaştığını ve sonrasında yükselme hızının giderek azalmasıyla yavaş yavaş bugünkü seviyesine ulaştığını temsil etmektedir.
2. Kayan (1991, 1997, 1999, 2012) tarafından ifade edilen modele göre; deniz seviyesinin 6000 yıl kadar önce bugünkü seviyesine ulaştığı, bir süre bu seviyede kaldıktan sonra 3500 yıl öncelere kadar birkaç metre alçaldığını ve sonra tekrar yavaş yavaş bugünkü seviyesine yükseldiği temsil edilmektedir (Şekil 3.5).

3. Fairbridge (1961) tarafından ifade edilen model ise, deniz seviyesinin 6000 yıl kadar öncelerde bugünkünden birkaç metre yukarıya yükseldiğini, sonra belirlenmesi güç küçük salınımlarla bugünkü seviyesine ulaştığı şeklindeki örnekleri temsil etmektedir.

Batı Anadolu ve Akdeniz Körfezi'ne kadar gelen Batı Akdeniz kıyılarında yapılan çalışmalar Kayan (1991) tarafından ifade edilen modele uygun sonuçlar vermektedir (Öner, 2008, 2009, 2016; Öner ve Akbulut, 2015; Öner ve Vardar, 2017; Vardar ve Öner, 2017; Vardar, Öner ve İlhan, 2017; Vardar, 2018). Burada dikkat edilmesi gereken husus özellikle Kayan (2012, s. 2)'in ifade de ettiği üzere Anadolu'nun batı ve güney batı kıyılarına uygun olduğu kabul edilen bu model tek başına östatik anlam ifadesi vermemektedir. Kayan, yayınladığı araştırmalarında model hakkında "bağlı" kelimesini kullanmaktadır. Şekil 3.5'te yapılan sedimantolojik ve arkeolojik çalışmalarla, ^{14}C yaşlandırma testlerine de dayalı olarak son 7000 yıldır Türkiye Ege ve Batı Akdeniz kıyılarında kabul edilen bağlı deniz seviyesi değişim modeli verilmiştir.



Şekil 3.5. Yapılan sedimantolojik ve arkeolojik çalışmalarla, ^{14}C yaşlandırma testlerine de dayalı olarak son 7000 yıldır Türkiye Ege kıyılarında kabul edilen bağlı deniz seviyesi değişim modeli. (Kayan, 1995, s. 216'dan düzenlenerek yeniden çizilmiştir).

Şekil 3.5'teki yatay eksen bin yıl birimiyle zamanı, dikey eksen metre birimiyle yüksekliği temsil etmektedir. Orta Holosen'e denk gelen zaman dilimi, yani günümüzden yaklaşık 7500-5500 yıl öncesinin Holosen'in Klimatik Optimum dönemidir. Klimatik Optimum dönemi, Holosen döneminin en sıcak olduğu dönemdir (Kayan, 2012). Kayan (2012) tarafından bunu izleyen dönemde sıcaklıkların daha

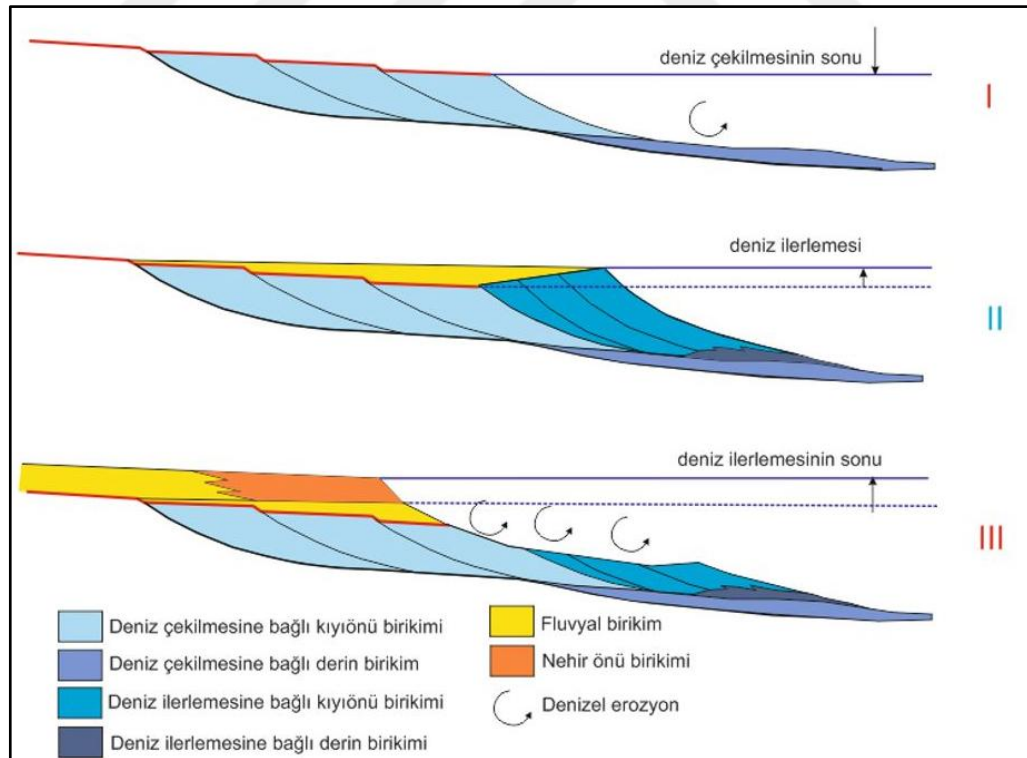
yüksek değil, aksine daha düşük olduğu belirtilmektedir. Bu durumda Orta Holosen'den günümüze doğru gelen deniz seviyesi değişimini genel olarak Holosen içerisindeki iklim salınımlarıyla ilişkilendirmek mümkündür. Diğer yandan, geç Holosen'e ait tektonizma gibi yerel etkiler de kıyı çizgisi değişimlerinde önemli farklılıklar meydana getirmiştir. Kayan (2012) tarafından belirtildiği üzere bu durum, genellikle tektonik çukurluklara yerleşmiş olan büyük akarsu ağzlarındaki delta ilerlemelerinin eski liman yapılarının ve ünlü liman kentlerinin metrelerce kalınlıktaki alüvyon örtüsü altında kalarak önemlerini yitirmelerine sebep olmuştur. Efes ve Milet antik kentleri (Kayan, 2012), Myra antik kenti (Avcı, 2015) ve Troia antik kenti (Vardar, 2018) bu duruma örnek olarak gösterilebilir.

3.1.3. Bölgenin jeomorfolojik evrimi

Son buzul çağında -135 metrelerde olan Dünya denizlerinin seviyesi, Orta Holosen'e kadar bugünkü seviyesine yükselmiş ve özellikle akarsu ağzlarına karşılık gelen alçak kıyılarda iç kesimlere sokulup koy ve körfezler oluşturmuştur. LGM'nin ardından başlayan buzul erimesiyle yükselen deniz seviyesi günümüzdeki düzeyine en büyük oranıyla 10 bin yıl öncesinde, Holosen başında ulaşmıştır (Kayan, 1991; Öner ve Akbulut, 2015; Öner, 2016; Vardar, 2018). Deniz seviyesindeki yükseliş 6-7 bin yıl öncesine kadar devam etse de, bu zaman diliminde hızı biraz daha yavaşlamıştır. Orta Holosen'de deniz seviyesi yükselmesinin durmasıyla bu kez koy ve körfezler alüvyonlarla dolarak kıyı çizgisi deniz yönünde ilerlemiştir (Kayan, 1991, 1995, 1996, 1999; Waelbroeck vd., 2002; Brückner vd., 2010). Bu dönemlerde kıyılarda liman kentleri olarak kurulan eski yerleşmeler giderek kıyı çizgisinden içerilerde kalmış ve önemlerini kaybetmişlerdir (Kayan, 1995, 1997, 1999; Öner, 2016; Öner ve Vardar, 2017; Vardar, 2018). Efes, Milet ve Troia gibi liman kentleri alüvyonlarla dolarak iç kesimlerde kalmıştır (Vardar, 2018). Aynı durumdan Olympos limanı da benzer şekilde etkilenmiştir. Diğer taraftan EBTP'ye bağlı olarak gelişen tektonik hareketler sebebiyle karasal yükselim gerçekleşmiş ve bu sırada gelen taşkınlarla, Olympos liman yapılarına ait temellerin 0.5 m kum ve çakıl altında kaldığı Çiner vd. (2009) tarafından ifade edilmiştir.

Hidrojeolojik kavramsal modelin oluşturulması için Kayan (1991) tarafından geliştirilen ve Türkiye'nin batı ve güney kıyılarında da uygun olduğu kabul edilen bağıl deniz seviyesi değişim modeli, Hunt ve Tucker (1992) tarafından önerilen deniz

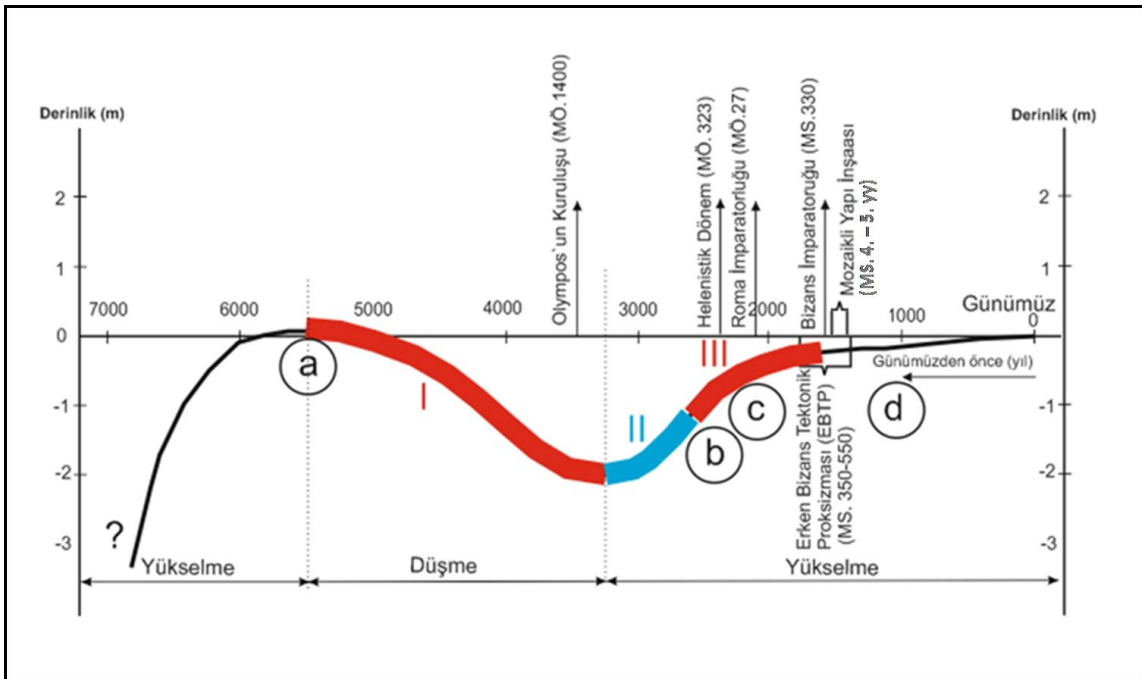
seviyesine bağlı kıyı çizgisi değişimi (Şekil 3.5) ve çökelme dizileri (Şekil 3.6) ile değerlendirilmiştir (Şekil 3.7). Holosen'e ait Klimatik Optimum adı verilen ılıman iklimin ardından, günümüzden 5500 yıl önce başlayan deniz seviyesindeki bağlı düşme 3200'lü yıllara kadar devam etmiştir. Deniz seviyesinin düşmeye başladığı dönemde kıta önünde deniz aniden derinleşmekte ve denizin vadi içlerine kadar ilerlediği bir ortam gözlenmektedir (Şekil 3.8; a). Günümüzden 3200 yıl öncesine kadar deniz seviyesindeki düşme (Şekil 3.6 ve Şekil 3.7; I. dönem) kıyıda deniz çekilmesine bağlı kıyı önü sediman birikimine sebep olmuştur. Bu dönemde deniz seviyesinin düşümüne bağlı olarak depolanan sedimanlar kıyıda düzlükleri oluşturmuştur. Bu dönem yaklaşık olarak Olympos'un ilk kuruluşuna rastlamaktadır. Dolayısı ile Olympos kenti ilk olarak bu düzlüklere kurulmuştur. Deniz seviyesindeki düşüş (Şekil 3.6 ve Şekil 3.7; I. dönem) yükselişe geçtiğinde (Şekil 3.6 ve Şekil 3.7; II. dönem), deniz ilerlemesine bağlı kıyı önü sedimantasyonu gerçekleşmiş ve ilk olarak Olympos şehrine ait ilk binaların bir kısmının sular altında kalmasına, daha sonra ise akarsular tarafından depolanan fluvyal sediman birikiminin gerçekleşmesiyle, gömülmelerine sebep olmuştur.



Şekil 3.6. Hunt ve Tucker (1992) çökelim şeması.

II. dönem ile III. döneme geçiş, deniz seviyesi yükselmesinin artık yavaşlamaya geçtiği dönem olarak tanımlanabilir. III. dönemde bir yandan nehir önü birikimi ve

akarsuyun getirdiği flüvyal birikim devam ederken, denizel erozyonun da dönemin sonlarına doğru etkili hale geçmeye başladığı dönemi temsil etmektedir (Şekil 3.6 ve Şekil 3.7; III. dönem). III. dönemin başlarında daha hızlı gerçekleşen deniz seviyesi yükselimi, sedimantasyonun da artışına sebep olmuş ve özellikle Helenistik ve Roma Dönemi yapılarının sular altında kalmasına ve akarsular tarafından getirilen flüvyal malzeme nedeniyle gömülmesine neden olmuştur (Şekil 3.6 ve Şekil 3.7; III. dönem). Her bir zamanın açıklaması numaralandırılarak ayrı ayrı yapılmış ve Olympos antik kentine ait zaman-deniz seviyesi değişim grafiği Kayan (1995, s. 216)'dan uyarlanarak Şekil 3.7'de verilmiştir.

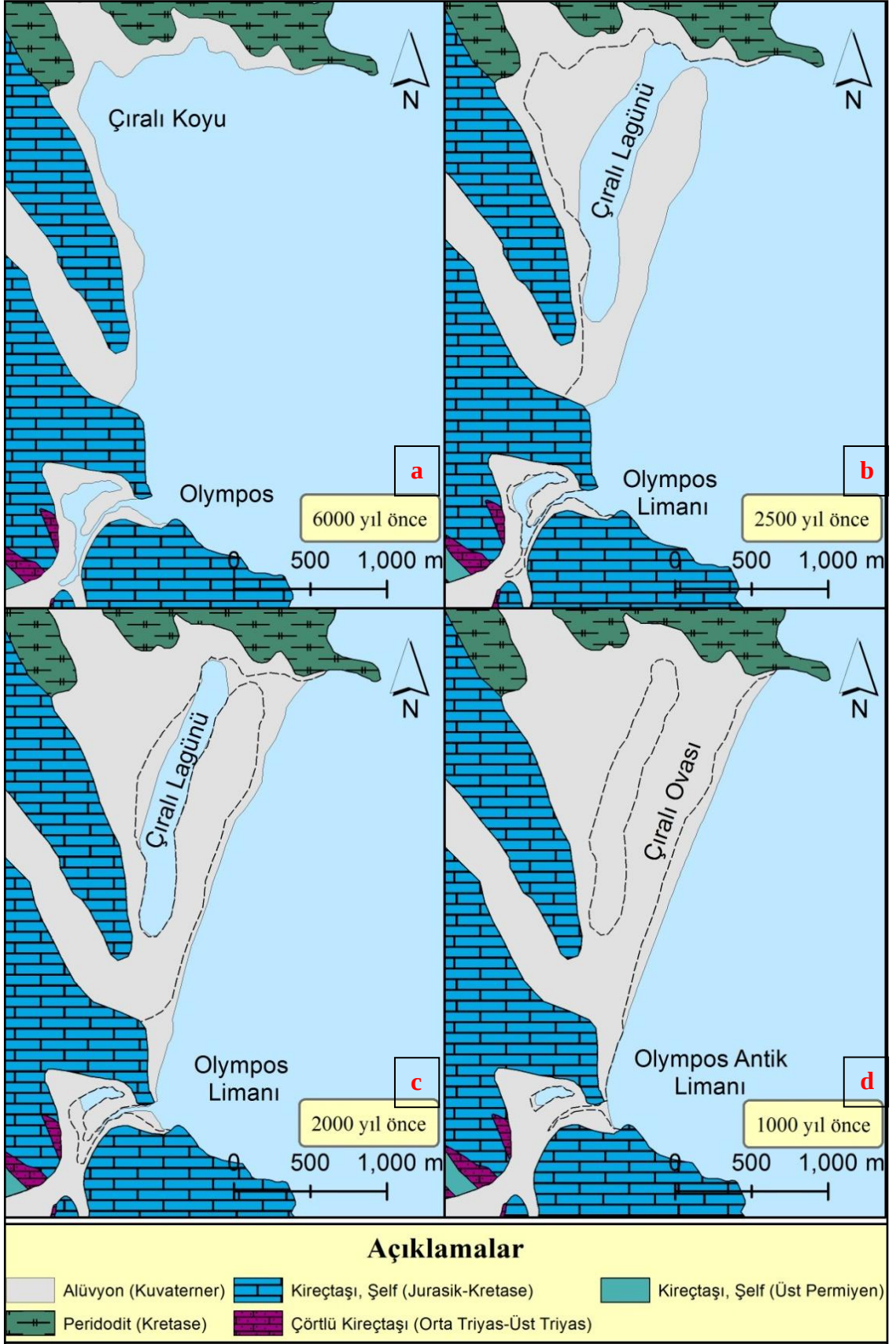


Şekil 3.7. Bağıl deniz seviyesi değişim modeli (Kayan, 1995, s. 216'dan düzenlenerek yeniden çizilmiştir.) Yatay eksen yıl birimiyle zamanı, dikey eksen metre birimiyle yüksekliği temsil etmektedir.

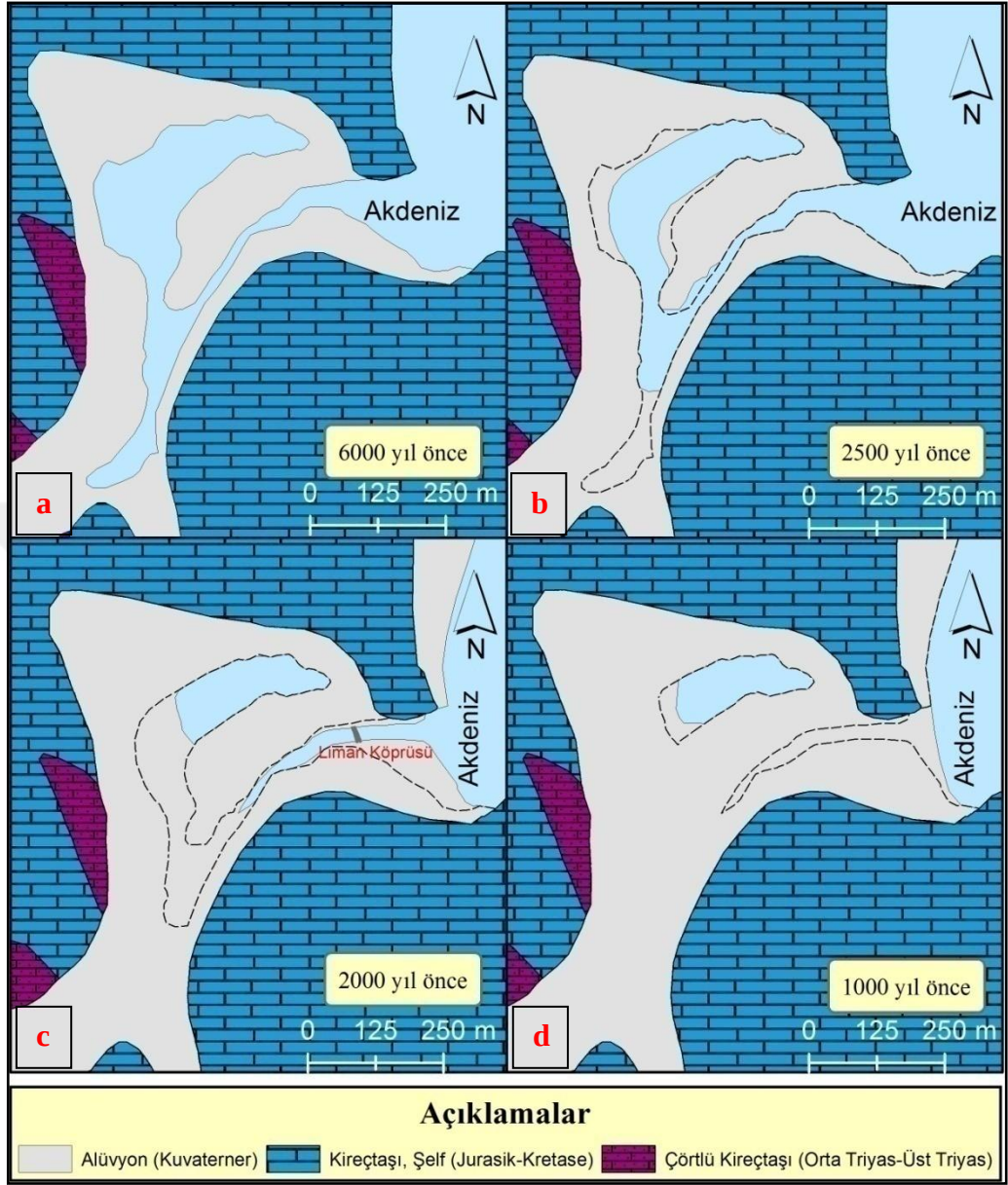
Olympos Koyu ile Çıralı Koyu birbirlerine komşu koylardır. İki koy sedimanter açıdan karşılaştırıldığında, Çıralı Koyu'na dökülen nehirlerin Olympos Koyu'na dökülen nehirlerden oldukça fazla sediman taşınımı gerçekleştirdiği gözlenmektedir. Olympos Limanının önünün sedimanlar ile kapanmasında esas olarak Çıralı Koyuna dökülen Ulupınar karstik kaynaklarından beslenen Ulupınar Deresi'nin yüksek etkisi bulunmaktadır. Bu bilgiler değerlendirildiğinde Olympos Koyu'nun jeomorfolojik evrimine Çıralı Koyu'nun jeomorfolojik evrimini de dahil edilmiştir.

Çıralı Koyu'nu meydana getiren alüvyonların yarattığı topoğrafya değerlendirildiğinde, Holosen ortasında başlayan deniz seviyesinin düşüşünden itibaren

alüvyon taşınımına bağlı olarak iki aşamalı bir sedimantasyon gerçeklemiştir. Deniz ilerlemesine bağlı kıyıönü birikimi Çıralı Koyu'nu etkisi altına almış ancak korunaklı bir alanda bulunan Olympos Koyu bu süreçte etkilenmemiştir. Çıralı Koyu'nun Ulupınar bölgesindeki karstik kaynaklara bağlı taşınan yüksek hacme sahip sediman taşınımı Çıralı lagününü oluştururken, Çıralı'nın içerisindeki nehirler Çıralı Koyu'nu doldurmaya başlamıştır. Olympos limanına boşalan çayın debisi ise Çıralı Koyu'na boşalan nehirler ile karşılaştırıldığında oldukça düşüktür. Debisi düşük olan Olympos Çayı'nın getirdiği sedimanların Olympos vadisini doldurmasına rağmen, kısıtlı sediman hacmi sebebiyle Olympos Koyu'nda ani bir alüvyonla kaplanma durumu gerçekleşmemiştir. Bu nedenle Olympos Limanı'nın M. S. 200 yıllarına kadar işlerliğini sürdürdüğü tahmin edilmektedir. Olympos Limanı'nın kullanılamaz hale gelmesinin; Çıralı Koyu'na boşalan, Ulupınar Deresi'nden gelen sedimanların yanında deniz ilerlemesine bağlı kıyıönü birikiminin Olympos Limanı'nın önünü tıkaması sonucu olduğu belirlenmiştir. Diğer taraftan önceleri tuzlu su özelliği gösteren Olympos içerisindeki gölün, nehir ve denizle bağlantısının kesilmesi sonucu tuzlu su özelliğinden tatlı su özelliğine geçmiş olduğu düşünülmektedir. Olympos Çayı'nın taşıdığı sedimanlar nedeniyle paleo göl ile nehrin bağlantısı kesilmiş, bölgedeki Olympos şehrinin kuzeyindeki karstik kaynakların etkisi ile göl tatlı su özelliği göstermiştir. Günümüzde ise taşınan alüvyonlar tarafından dolmuş ve paleo göl, sazlık-bataklık alan haline dönüşmüştür. Bölgenin geçmişteki tahmini jeomorfolojik haritaları 4 farklı zaman halinde (Şekil 3.8; a, b, c, d ve Şekil 3.9; a, b, c, d) verilmiştir.



Şekil 3.8. Olympus ve Çıralı bölgelerinin jeomorfolojik evrimi. Günümüzden yaklaşık a) 6000 yıl önce (~M. Ö. 3400), b) 2500 yıl önce (~M. Ö. 500), c) 2000 yıl önce (~M. Ö. 0) ve d) 1000 yıl önce (~M. S. 1000).



Şekil 3.9. Türkiye Ege kıyıları deniz seviyesi değişim modeli ile Olympos sedimantasyon örtüsünün korelasyonu. Şekil 3.7’de ifade edilen a, b, c, d harfleri ile ilişkilendirilmiştir. Günümüzden yaklaşık a) 5500 yıl önce (~M. Ö. 3400), b) 2500 yıl önce (~M. Ö. 500), c) 2000 yıl önce (~M. Ö. 0) ve d) 1000 yıl önce (~M. S. 1000).

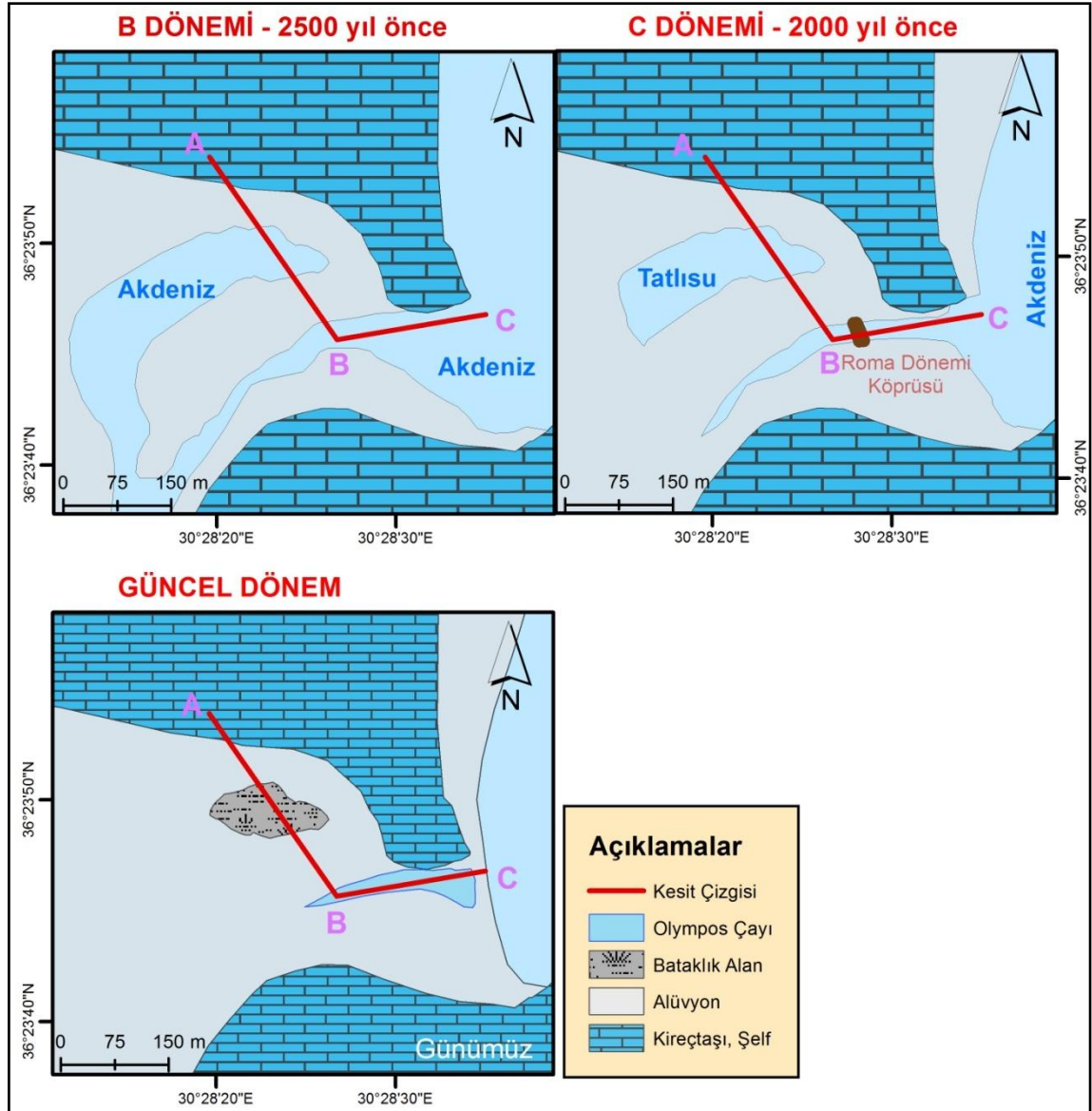
Şekil 3.8 ve Şekil 3.9’daki haritalar hazırlanırken; her bir dönem haritasının üzerine, bir önceki dönemle aralarındaki farkın gösterilebilmesi adına, bir önceki dönemin sınır çizgileri kesikli çizgiler olarak verilmiştir.

3.2. Bölgenin Hidrojeolojik Açidan Kavramsallaştırılması

Hidrojeolojik kavramsal modelin oluşturulması için, öncelikle jeomorfolojik evrimden yararlanılmıştır. Bu amaçla daha sonraki bölümde yeraltısu benzeşimleri

yapılacak olan 3 farklı zamana ait yatay kesitler oluşturulmuştur. Olympos'un jeomorfolojik evrimi olarak verilen haritada (Şekil 3.9); günümüz, günümüzden 2000 yıl öncesi ve günümüzden 2500 yıl öncesi için kavramsal model oluşturma amacı güdülmüştür.

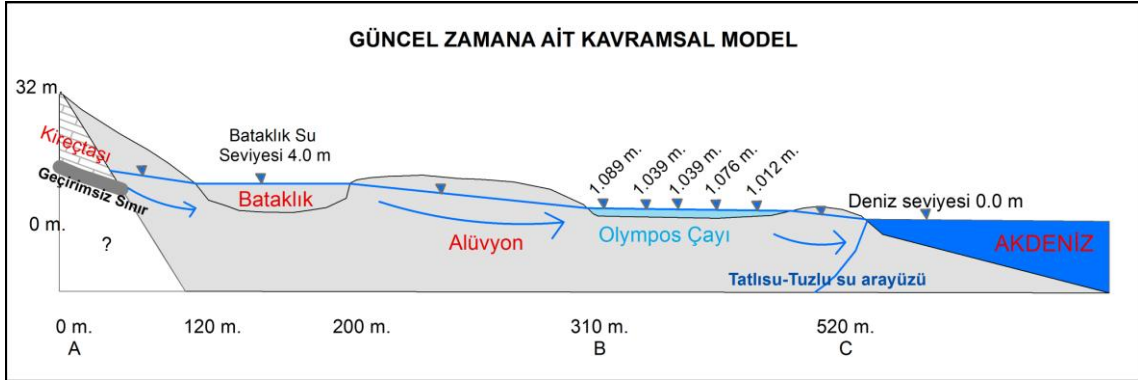
Şekil 3.10'da kesit almak için kullanılan çizgi üç farklı zaman jeolojisi üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Kesit çizgilerinin 3 farklı zaman üzerinde gösterimi.

Günümüz için üretilen kavramsal model üzerine (Şekil 3.11), arazi çalışmalarında ölçümleri yapılan Olympos Çayı su seviyesi değerleri, Olympos Çayı yan akım kolları üzerinden ölçülen su seviyeleri ve XY eksenine uzunluk birimleri eklenmiştir. Verilerin elde edilmesi ve üretilmesi 5. bölüm olan Veriler ve Veri Üretim Yöntemleri isimli

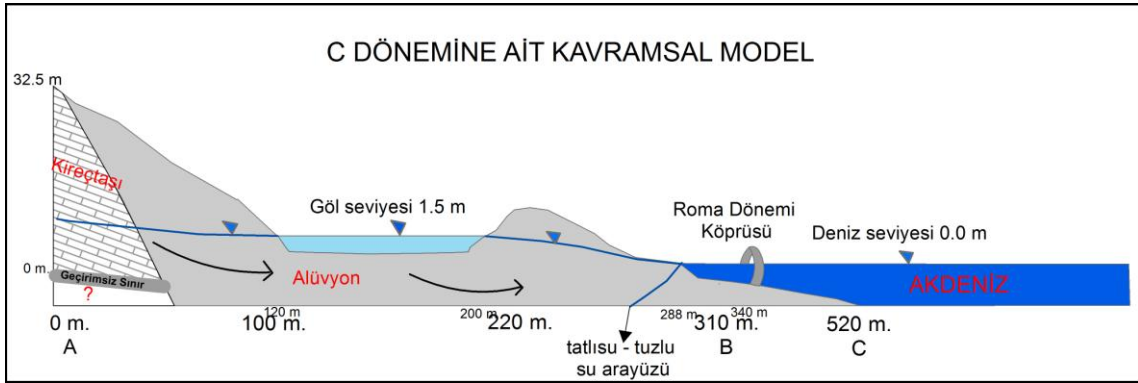
başlık altında detaylı olarak anlatılmıştır. Bu aşamada kavramsal model üzerine eklenen su seviyesi değerleri, görsellik olarak anlaşılabilirlik sağlanması için eklenmiştir.



Şekil 3.11. Güncel zaman dönemine ait kavramsal model.

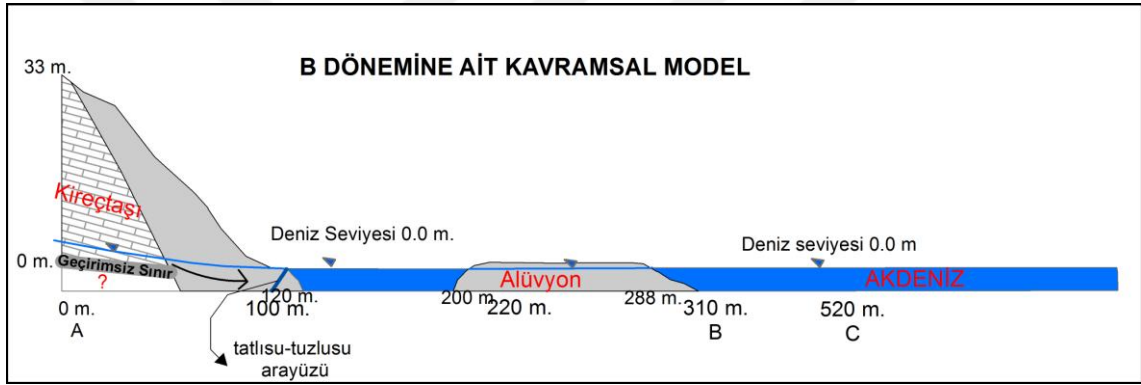
Şekil 3.11’de deniz seviyesine göre A noktasında bulunan topoğrafya kotu 32 metrededir. Kıyı çizgisinin başladığı C noktası, kesit çizgisinin 520. metresindedir.

Günümüzden 2000 yıl önceki C döneminde, deniz seviyesinin şu anki seviyesinden 0.5 metre daha alçakta olduğu tahmin edilmektedir (Şekil 3.12). Deniz seviyesinin yeni konumuna göre, A noktasında bulunan topoğrafya kotu 32.5 metre olmaktadır. Bahsi geçen bu zaman döneminde, günümüzdeki bataklığın önceki formu olan tatlısu gölü bulunmaktadır. Henüz bataklık oluşmamıştır ve göl karstik kaynaklardan beslendiği için tatlısu durumundadır. Deniz seviyesi güncel döneme göre alçaktadır, ancak alüvyonların henüz günümüzdeki kadar birikmemesi sebebiyle kıyı çizgisi daha içeridedir. Kıyı çizgisi, kesit çizgisinin 288. metresinde görülmektedir. Roma Dönemi köprüsü ise, aynı kesit çizgisinin 340. metresinde nehir ve denizin yüzey bağlantısının olduğu bölgede görüntülenmektedir (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Günümüzden 2000 yıl önceki döneme ait (M.Ö. 0) kavramsal model.

Şekil 3.13'te günümüzden 2500 yıl önceki B dönemine ait kavramsal model verilmiştir. Bu zaman döneminde deniz seviyesinin şu anki deniz seviyesinden 1 metre daha alçakta olduğu tahmin edilmektedir. Henüz alüvyonların göl oluşturacak kadar birikmemesi ve göl kenarındaki kıyı şeridinin kapanmaması sebebiyle, gölün olduğu bölüme denizin uzantısı girmektedir. A noktasında bulunan topoğrafya kotu deniz seviyesinin 1 metre daha az olması sebebiyle 33 metreye ulaşmıştır. B dönemi diye adlandırılan zamanın, Helenistik Çağ öncesinde olduğu bilinmektedir. Bu sebeple Roma Dönemi köprüsü henüz bu tarihte inşa edilmemiştir. C dönemindeki 120 m – 200 m arasındaki paleogöl, bu dönemde henüz alüvyonlarla kapanmadığı için denizdir. Yatay kesitle bakıldığında 3 tane kıyı çizgisi bulunmaktadır (120. m, 200. m ve 288. m) (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. Günümüzden 2500 yıl önceki döneme ait (M.Ö. 500) kavramsal model.

4. SAYISAL AKIM MODELİ

Hidrojeolojik kavramsal modelin oluşturulmasını sayısal akım modeli oluşturma aşaması takip etmektedir. Sayısal akım modellerinde, ilgili akifer içindeki yeraltısuyu akışı kısmi diferansiyel denklemler ile ifade edilip ardından sayısal analiz yöntemleri ile çözülmektedir. Bu amaçla kullanılan HST3D ([http-3](#)), HYDROTHERM ([http-4](#)), MF2K-GWT ([http-5](#)), MODFLOW ([http-6](#)), SEAWAT ([http-7](#)), SHARP ([http-8](#)), SUTRA ([http-9](#)) vb. çok sayıda model programı bulunmaktadır. Kavramsal modeller bu programlar aracılığıyla matematiksel modellere dönüştürülmektedir. Her bir yazılımın kullanım amacı farklı olduğu için matematiksel modele dönüşüm aşamasında, modelleme amacına ve akifer koşullarına uygun yazılımın seçilmesi de önemlidir.

Bu çalışmada Olympos alüvyon akiferinin yeraltısuyu akım modelinin oluşturulmasında MODFLOW-USG sayısal akım modeli tabanlı GMS 10.2 programı kullanılmıştır. MODFLOW, USGS tarafından geliştirilen ve üç boyutlu yeraltısuyu akış denklemini gözenekli bir ortam için sonlu farklar metodu kullanarak sayısal olarak çözen bir bilgisayar programıdır (McDonald ve Harbaugh, 1988). MODFLOW'un ilk versiyonu 1983 yılında oluşturulmuş ve bu versiyon McDonald ve Harbaugh (1984) tarafından dökümanite edilmiştir. Yıllar içinde eklenen modüllerle hatalar giderilmiş ve program geliştirilmiştir. Günümüzde MODFLOW, yeraltısuyu akışını simüle etmek için dünyada en yaygın olarak kullanılan programdır (Leake, 1997).

MODFLOW, aşağıdaki durumların tamamı mevcut olduğunda akifer sistemlerini simüle etmek için kullanılabilir:

1. Doygun akım koşullarında,
2. Darcy Kanunun geçerli olduğu koşullarda,
3. Yeraltısuyunun yoğunluğunun değişmediği koşullarda,
4. Yatay ve dikey hidrolik iletkenlik ile transmissibilitenin değişmediği koşullarda (Leake, 1997).

4.1. Yeraltısuyu Akım Denklemi

Gözenekli malzemeden geçen sabit yoğunluklu yeraltısuyunun üç boyutlu hareketi Darcy Kanunu ile tanımlanmaktadır (Denklemler 4.1) (McDonald ve Harbaugh, 1988).

$$\mathbf{q} = -\mathbf{K}\nabla\mathbf{h} = -\begin{pmatrix} K_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & K_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & K_{zz} \end{pmatrix} \nabla\mathbf{h} \quad (4.1)$$

Denklem 4.1’de verilen Darcy Kanunu eşitliğinde,

$\mathbf{q}$:Darcy akış vektörünü (L^2/T)

$\mathbf{K}$:Hidrolik iletkenlik tensörünü (L/T)

K_{xx}, K_{yy}, K_{zz} :Ana hidrolik iletkenlik eksenlerine paralel olduğu varsayılan x,y,z koordinat eksenleri boyunca hidrolik iletkenlik değerlerini (L/T)

h :Potansiyometrik yükü (L)

$\nabla\mathbf{h}$:Hidrolik gradyan vektörü temsil etmektedir.

Yeraltısuyu akımı Darcy Yasası ve kütle korunumu ilkesinin birlikte kullanımı ile kısmi diferansiyel (Denklem 4.2) olarak türetilmiştir (McDonald ve Harbaugh, 1988). Denklem 4.2 ile yeraltısuyu akışının modellenmesi için akiferin sınırlarındaki yük koşulları ve başlangıç yük dağılımının bilinmesi gerekmektedir.

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(K_{xx}\frac{\partial h}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(K_{yy}\frac{\partial h}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(K_{zz}\frac{\partial h}{\partial z}\right) + Q'_s = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (4.2)$$

Denklem 4.2’de verilen kısmi diferansiyel akım denkleminde,

Q'_s birim hacim başına su giriş (katkı) ya da çıkışını (kayıp) temsil etmektedir (T^{-1}).

Q'_s negatif bir değerde olduğunda yeraltısuyundan çıkış, pozitif bir değer olduğunda ise yeraltısuyuna giriş olduğu anlamına gelmektedir.

S_s :gözenekli malzemenin özgül depolamasını (L^{-1})

h :hidrolik yükü (L)

t :zamanı (T)

K_{xx}, K_{yy}, K_{zz} :Ana hidrolik iletkenlik eksenlerine paralel olduğu varsayılan x,y,z koordinat eksenleri boyunca hidrolik iletkenlik değerlerini (LT^{-1}) temsil eder.

S_s, K_{xx}, K_{yy} ve K_{zz} konuma bağlı birer fonksiyon ($S_s = S_s(x,y,z), K_{xx} = K_{xx}(x,y,z), K_{yy} = K_{yy}(x,y,z), K_{zz} = K_{zz}(x,y,z)$) iken h ve Q'_s hem konumun hem de zamanın birer fonksiyonudur ($h = h(x,y,z,t), Q'_s = Q'_s(x,y,z,t)$). Denklem 4.2, ana hidrolik iletkenlik eksenlerinin koordinat yönleriyle aynı hizada olması koşuluyla, heterojen ve anizotropik bir ortamda dengede olmayan yeraltısuyu akışını da içerisine dahil eder. Çok basit

sistemler dışında, 4.2 no.lu denklemin analitik çözümü nadiren mümkündür. Bu nedenle yaklaşık çözümler elde etmek için çeşitli sayısal yöntemler kullanılmalıdır (Langevin vd., 2017). Bu sayısal yöntemlerden biri de sonlu farklar yaklaşımıdır. MODFLOW da yeraltısu akış benzeşimini yapmak için bu yöntemi kullanmaktadır.

4.2. MODFLOW’da Sonlu Farklar Yaklaşımı

MODFLOW yeraltısu modellemesini yaparken Denklem 4.2’yi sonlu farklar yöntemiyle çözer. Sonlu farklar yöntemi ile Denklem 4.2 ile ifade edilen sürekli akım sistemi konum ve zaman içerisinde ayrı noktalarla dönüştürülmekte ve kısmi diferansiyel terimler de bu noktalardaki fonksiyonel değerler arasındaki farklar ile ifade edilmektedir (McDonald ve Harbaugh, 1988). Sonlu farklar yaklaşımının yeraltısu modellemesinde çok geniş alanlarda kullanılması, üç boyutlu problemlere uygulanabilirliğinin kolay olmasından kaynaklanmaktadır. Model alanı MODFLOW tarafından her bir düğüm noktasını çevreleyen bir hücreye bölünür ve hücreler birbirinden grid çizgileri ile ayrılır. Sonlu farklar modeli hücre merkezli veya ağ merkezli olabileceği gibi, MODFLOW hücre merkezli sonlu farklar yöntemini kullanmaktadır ve bu yöntemle Denklem 4.2 kullanılarak her bir grid hücresi (Şekil 4.1) için doğrusal denklem (Denklem 4.3) oluşturulur (McDonald ve Harbaugh, 1988). Modelde akifere ait hidrolojik değerler her bir hücre için ayrı ayrı belirlenmekte ve hücre içerisinde bu değerlerin değişmediği kabul edilmektedir (McDonald ve Harbaugh, 1988).

$$\begin{aligned}
 & CR_{i,j-1,k}(h_{i,j-1,k} - h_{i,j,k}) + CR_{i,j+1/2,k}(h_{i,j+1,k} - h_{i,j,k}) + \\
 & CC_{i-1/2,j,k}(h_{i-1,j,k} - h_{i,j,k}) + CC_{i+1/2,j,k}(h_{i+1,j,k} - h_{i,j,k}) + \\
 & CV_{i,j,k-1/2}(h_{i,j,k-1} - h_{i,j,k}) + CV_{i,j,k+1/2}(h_{i,j,k+1} - h_{i,j,k}) + \quad (4.3) \\
 & P_{i,j,k}h_{i,j,k} + Q_{i,j,k} = S_s(\Delta R. \Delta C. \Delta V) \frac{(h_{i,j,k}^m - h_{i,j,k}^{m-1})}{t^m - t^{m-1}}
 \end{aligned}$$

4.3 no.lu eşitlikteki değişkenler aşağıda anlamlarıyla beraber açıklanmıştır;

$h_{i,j,k}^m$:i, j, k hücrelerindeki m zaman adımındaki yük değerini (L),

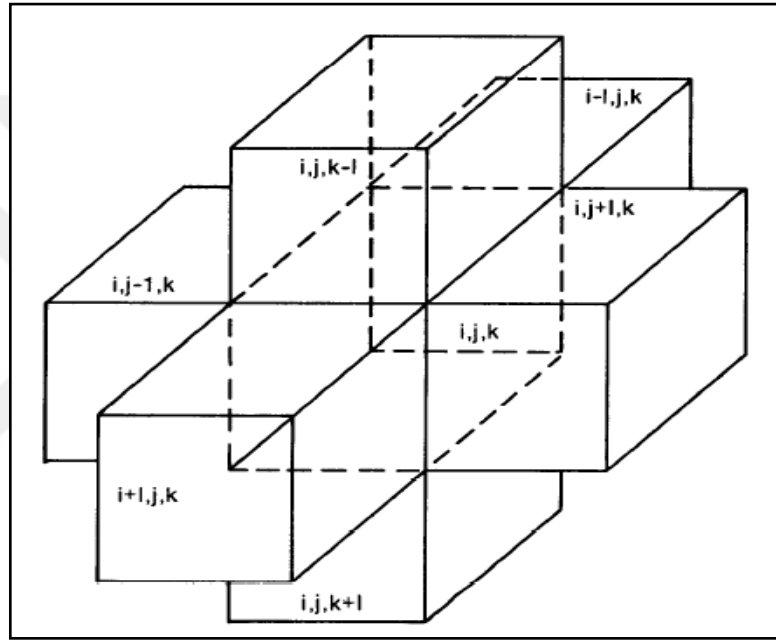
CR, CC, CV :i, j, k düğüm noktaları ve komşu düğüm noktaları arasındaki hidrolik iletkenliğini (L^2T^{-1}),

$P_{i,j,k}$:Katkı/kayıplardaki hidrolik yük katsayısının toplamını (L^2T^{-1}),

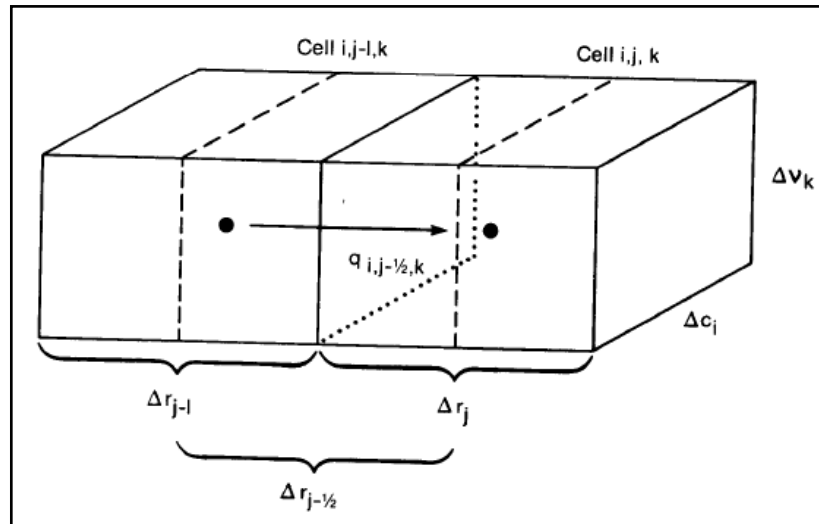
$Q_{i,j,k}$:Katkı/kayıplardaki katsayıların toplamını (L^3T^{-1}),

S_s	:Gözenekli malzemenin özgül depolamasını (L^{-1}),
ΔR_j	:Tüm satırlardaki j kolonunun hücre genişliğini (L),
ΔC_i	:Tüm kolonlardaki i satırının hücre genişliğini (L),
$\Delta V_{i,j,k}$	:i, j, k hücresinin düşey kalınlığını (L)
t^m	:m zaman adımı büyüklüğünü (T) temsil etmektedir.

Şekil 4.1'de i,j,k grid hücresi ile bu hücreye komşu 6 hücre ve Şekil 4.2'de i,j-1,k hücresinden i,j,k hücresine doğru devam eden yeraltısuyu akışı hücreler üzerinden gösterilmiştir.



Şekil 4.1. i,j,k hücresi ve bu hücreye komşu 6 grid hücresinin gösterimi (McDonald ve Harbaugh, 1988, s. 2-8).



Şekil 4.2. i,j-1,k hücresinden i,j,k hücresine doğru akan yeraltısuyu akışı ve sembollerin şekil üzerinde gösterimi (McDonald ve Harbaugh, 1988, s. 2-9).

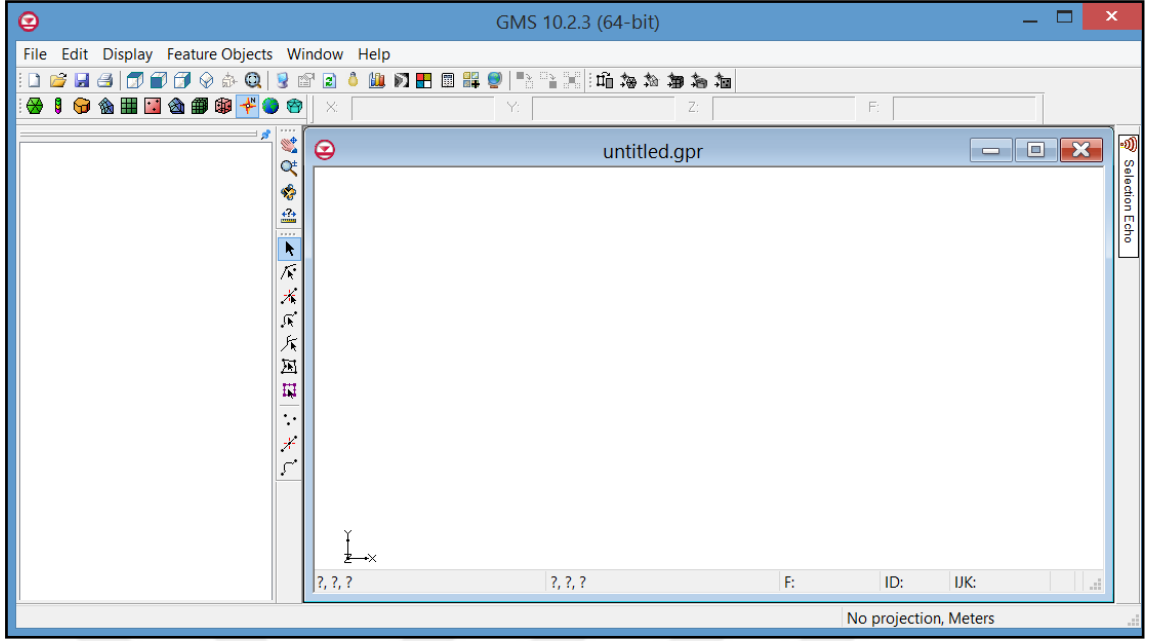
4.3. Kullanılan Yazılım

Bu çalışmada MODFLOW sayısal akım modeli GMS ara yüzü ile kullanılmıştır. GMS yeraltısuyu benzeşimlerini gerçekleştirmek için kullanılan kapsamlı bir grafiksel kullanıcı ortamıdır. GMS sisteminin tamamı bir grafik kullanıcı arayüzü ve bir dizi analiz kodundan (MODFLOW, MODPATH, MT3DMS, RT3D, FEMWATER vs.) oluşur. GMS 2 boyutlu ve 3 boyutlu modellemelerde hem sonlu farklar yöntemini hem de sonlu elemanlar yöntemini destekleyebilmektedir. GMS arayüzü 2007 yılında kurulan Utah Provo'daki Aquaveo LLC tarafından geliştirilmiştir ([http-10](http://10)).

GMS, MODFLOW'u hem ön-işlemci (pre-processor) hem de art-işlemci (post-processor) olarak desteklemektedir. MODFLOW için girdi verisi GMS tarafından oluşturulur, bu veriler bir grup dosyaya kaydedilir. Bu aşamada GMS ön-işlemci görevini üstlenmektedir. Bu dosyalar MODFLOW tarafından okunur ve sayısal model hesaplamaları yapılır. İşlem sonunda MODFLOW tarafından çıktı olarak oluşturulan veriler GMS tarafından okunur ve analizin sonucu yine GMS tarafından paylaşılır. Bu aşamada da GMS art-işlemci görevini üstlenmektedir ([http-11](http://11)).

GMS'te MODFLOW modeli iki yöntemden biriyle oluşturulabilir. İlk yöntem grid yaklaşımı (the grid approach), ikinci yöntem ise kavramsal model yaklaşımıdır (the conceptual model approach). Grid yaklaşımı katkı/kayıp ya da diğer model parametrelerinin doğrudan 3D gridlerini düzenleme yoluyla hücre bazlı uygulanmasını içerir. Bu yaklaşımda tüm hidrolojik parametreler grid hücrelerine kullanıcı tarafından atanmaktadır. Kavramsal model yaklaşımı ise, CBS araçları kullanılarak önce kavramsal model oluşturmayı, daha sonra oluşturulan kavramsal modele ait değerlerin grid hücrelerine kopyalanmasını içermektedir. Basit problemlerde grid yaklaşımı kullanışlıdır, ancak daha karmaşık modellemeler için tek tek hücre düzenlemek zor olacağı için kavramsal model yaklaşımı, grid yaklaşımından çok daha kullanışlı olmaktadır ([http-12](http://12)).

GMS arayüzü Şekil 4.3'de verilmiştir.

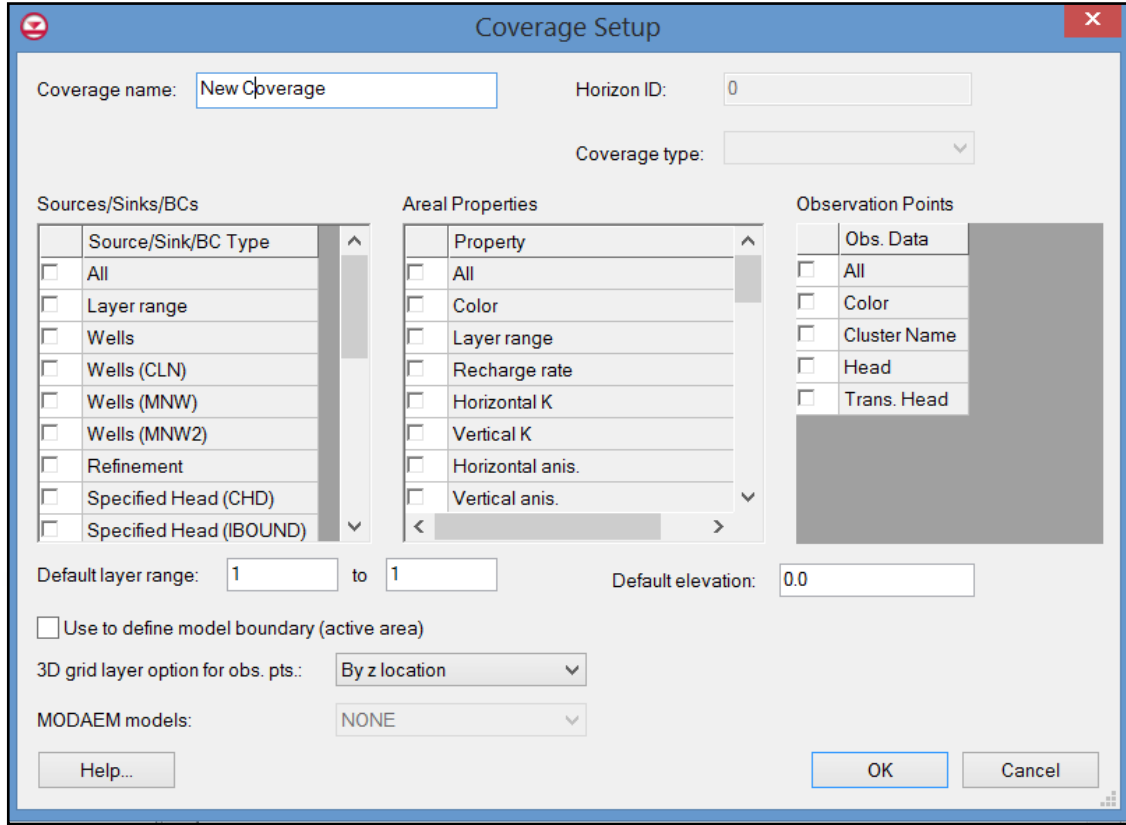


Şekil 4.3. GMS arayüzünü gösteren ekran görüntüsü.

4.3.1. GMS modelleme programı hakkında genel bilgiler

GMS ile yeraltı suyu modellemesi yapılabilmesi oluşturulan kavramsal model, modellenmesi istenen bölgeye ait hidrolik ve jeolojik verilerin sisteme girilmesi ile tamamlanmaktadır. Bu verilerin girişi için coverage adı verilen kapsamlar oluşturulmaktadır. Veri girişleri harita modülündeki nesneler (noktalar, yaylar ve poligonlar) kullanılarak yapılabildiği gibi, CBS ortamında üretilmiş verilerin de CBS (GIS) modülü ile eklenmesi mümkündür.

Birden çok amaç için 3 farklı çeşit kapsam üretilmektedir (Şekil 4.4). İlk tür kapsam, Source/Sinks/BCs adı verilen kapsam olmakla birlikte; bu tür kapsam içerisine drenaj, nehir, ırmak, göl, kuyular vb. kaynak noktaları, boşalım noktaları ve sınır koşulları eklenebilmektedir. GMS model programında akifer sisteminin sınır koşulları iki tür olarak tanımlanmaktadır. Eğer sisteme drenaj, nehir, ırmak, göl gibi sınırlar eklenmiş ise, bu sınırlarda akım bulunmaktadır. Herhangi bir tanımlamanın yapılmadığı sınırların geçirimsiz sınır olduğu kabul edilmektedir. Sistemde kuyular (Wells), enjeksiyon kuyusu ve pompaj kuyusu olmak üzere iki şekilde tanımlanabilmektedir. Kuyudan su çekildiği zaman çekilen miktar ($Q, L^3/T$) negatif olmakta, kuyuya su enjekte edildiğinde, eklenen miktar ($Q, L^3/T$) pozitif değer olmaktadır.



Şekil 4.4. Katman (Coverage) kurulum penceresi.

İkinci kapsam, Alansal Özellikler (Areal Properties) adı verilen; içerisine yağıştan beslenim (recharge), yatay ve dikey hidrolik iletkenlik katsayısı, yatay ve dikey anizotropi, özgül depolama (Ss), özgül verim (Sy), ET yüzey yüksekliği, ET oranı, ET bitiş derinliği, gözeneklilik vb. sadece alansal verilerin tanımlanabileceği kapsamdır. Veri girişi için harita modülündeki nesnelerden poligon kullanılmalıdır. Üçüncü tür olan kapsam, Gözlemsel Noktalar (Observation Points) isimli kapsamdır (Şekil 4.4). Bu kapsam içerisine modelleme sonrasında kalibrasyon yapabilmek için kullanılacak, arazide ölçülen veya gözlemlenen verileri eklemek mümkündür. Tek bir kapsamda aynı anda üç türden de özellikler bulunabileceği gibi, tez çalışmasında her bir parametre girişi için genellikle ayrı kapsamlar oluşturulmuştur.

Sınırlar (Boundaries), programa hem jeolojik hem de hidrolojik olarak eklenebilmektedir. Diğer bir deyişle yeraltısuyunu etkileyecek olan jeolojik ve hidrolojik sınırlardır. Jeolojik olanların içinde; faylar, çatlaklar, jeolojik formasyonlar bulunurken, hidrojeolojik olanlar Genel Yük (General Head), Belirtilmiş/Sabit Yük (Specified/Constant Head), nehir, ırmak, drenaj gibi sınırlar bulunmaktadır. Sabit yük hücreleri, model sınırında bilinen sabit hidrolik yükleri temsil eden sınırdır. Benzeşim boyunca sabit yük hücrelerinin başlangıç hidrolik yükleri değişmemektedir. Genel yük

hücreleri, model alanını gereksizce büyütmemek adına; uzaktaki sabit, yükü değişmeyen bir kaynaktan beslenen model sınırını göstermek için, bir nevi yanal beslenim var ise model sınırına tanımlanan hücrelerdir. Akış Olmayan Sınırlar (No-Flow Boundaries), modele hidrolojik parametrelerin girilmediği, yeraltısuyu veya yüzeysuyu akışının gerçekleşmediği sınırlardır.

GMS'te kullanılma durumuna göre iki tür hücre çeşidi vardır. Hücre merkezli griddeki her hücre aktif ya da inaktif olabilmektedir. İnaktif hücre, hesaplama alanının bir parçası değildir. Yeraltısuyu denklemi yalnızca aktif olarak tanımlanan hücreler için kullanılmaktadır. İnaktif olan hücreler, yeraltısuyu hesaplamalarına dahil edilmeyen hücrelerdir (http-13).

Program tarafından iki tür grid hücresi desteklenir; hücre merkezli (cell-centered) ve ağ merkezli (mesh-centered) hücrelerdir. Hücre merkezli grid üzerinden hesaplama yapıldığında, hesaplama noktaları hücre merkezlerinde yapılır. Ağ merkezli hücrelerin hesaplama noktaları ise grid köşeleridir (http-14). Bu çalışma kapsamında hücre merkezli gridler kullanılmıştır.

MODFLOW modelinde IBOUND olarak isimlendirilen bir matris düzeni kullanılmaktadır. Bu düzen, modeldeki her bir hücrenin aktif, inaktif ve sabit yük hücrelerinin tanımlanması için kullanılmaktadır. Hücre aktif ise IBOUND matris değeri pozitif, hücre sabit yük hücresi ise IBOUND matris değeri negatif, hücre inaktif ise IBOUND matris değeri sıfır olmaktadır.

5. VERİLER VE VERİ ÜRETİM YÖNTEMLERİ

5.1. Derlenen Veriler

Tez çalışması kapsamında derlenen veriler aşağıda detaylıca bahsedilmiştir.

İçlerinde Mozaikli Yapı'nın ve Roma Dönemi Köprüsü olarak bahsedilen köprünün de bulunduğu Bizans Dönemi, Roma Dönemi ve Türk Dönemi yapıları koordinatlı bir şekilde CBS ortamında Prof. Dr. B. Yelda Uçkan'ın başkanlığını ve Dr. Gökçen K. Öztaşkın'ın başkan yardımcılığını yaptığı Olympos Kazı Ekibi'nden temin edilmiştir.

Harita Genel Komutanlığı, Harita Maden İşleri Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanmış 1:25000 ölçekli P24-b2, P24-b3, P25-a1 ve P25-a4 topografik pafta haritaları temin edilerek CBS ortamına aktarılmıştır.

Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) Jeoloji Etütleri Dairesi tarafından üretilmiş olan 1:25000 ölçekli Antalya-P24-b2 jeoloji haritası yine topoğrafik haritada olduğu gibi, CBS ortamına aktarılarak çalışma alanı ve yakın çevresinin jeolojisinin belirlenmesinde kullanılmıştır.

Çalışma alanının yakın çevresi için United States Geological Survey (USGS) tarafından ASTER uydusu kullanılarak üretilen 30 m x 30 m piksel çözünürlüklü DEM haritası temin edilmiştir. DEM haritası, basit işlemler için kullanılmış ancak yeterli çözünürlük hassasiyeti sağlamadığı için veri üretim yoluna gidilmiştir. Üretilen veriler bir sonraki başlıkta açıklanmıştır.

5.2. Üretilen Veriler

Üretilen veriler; arazi çalışmalarında elde edilen ve CBS ortamında üretilen verileri kapsamaktadır. Yapılan tüm veri üretim yöntemleri, alt başlıklar halinde detaylı olarak açıklanmıştır.

5.2.1. Topoğrafya verileri

Olympos havzasına ait ASTER uydusundan temin edilen 30 m x 30 m piksel çözünürlüklü DEM haritasının yeterli hassasiyeti sağlamaması sebebiyle, 1:25000 ölçekli P24-b2, P24-b3, P25-a1 ve P25-a4 topoğrafik pafta haritalarında bulunan 10ar metre aralıklarla geçen eşyükselti eğrileri tek tek sayısal ortamda çizilmiştir. Diğer yandan yeraltısuyu seviyesinin yüzeye yakın olduğu Mozaikli Yapı ve çevresinde daha hassas topoğrafya verileri toplanmıştır. Topoğrafik verilerin ölçümü esnasında bölge

ağaçlık alan olduğu için GPS tek başına kullanılamamıştır. GPS'in uydularla düzgün bağlantı yakaladığı açıklık bir lokasyonun XYZ ölçümü yapılarak aynı noktaya nivo yerleştirilmiş ve bölgedeki yüksekliği ölçülmesi istenen lokasyonların yükseklikleri, nivo ölçümleriyle karşılaştırılarak hesaplanmıştır. Nivo ve şeritmetrenin kullanıldığı bu yöntemle Mozaikli Yapı çevresinde 32 adet noktanın topoğrafya kot ölçümü yapılmıştır (Tablo 5.1, Şekil 5.2). Yapılan ölçümler World Geodetic System 1984 (WGS84) The Universal Transverse Mercator (UTM) Zone 36 koordinat sistemiyle verilmiştir. Nivo kullanımı esnasında alınmış bir görüntü Şekil 5.1'de verilmiştir.



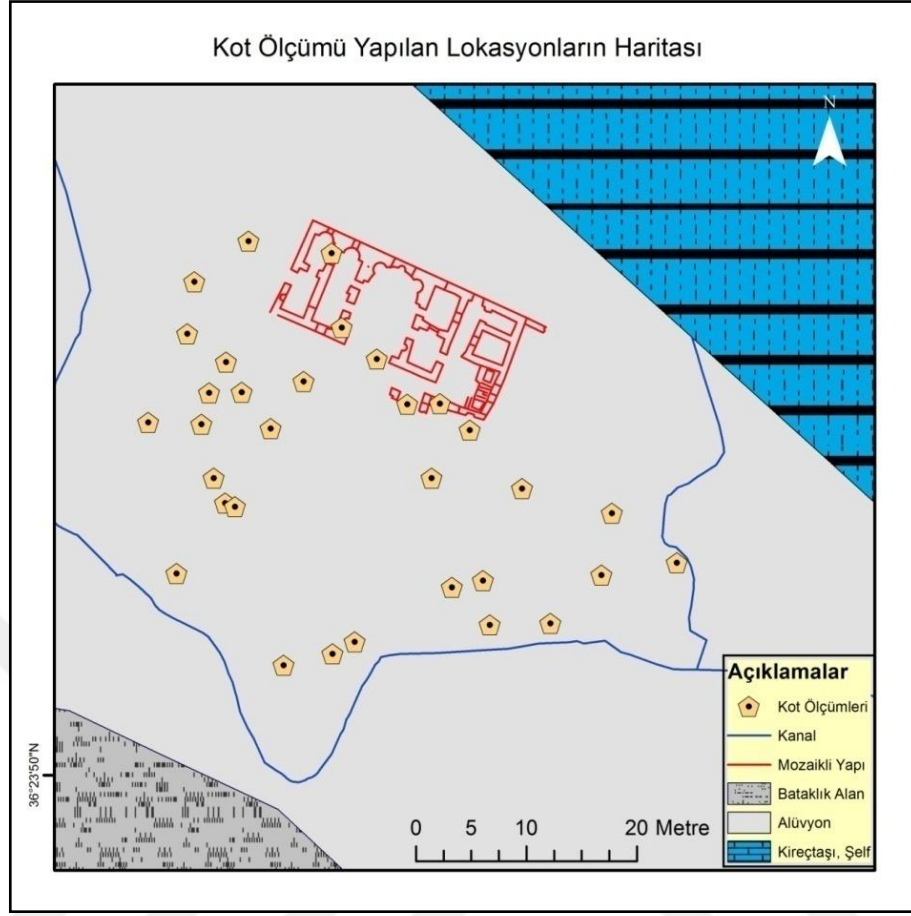
Şekil 5.1. Mozaikli Yapı çevresinde nivo ve şeritmetre kullanılarak yapılan kot ölçümü esnasında alınmış bir görüntü.

1:25000 ölçekli P24-b2, P24-b3, P25-a1 ve P25-a4 topografik pafta haritaları kullanılarak çizilen 10ar metre aralıklı eşyüksekti eğrileri, Mozaikli Yapı ve çevresinden elde edilen 32 adet topografik noktayla birleştirilmiş ve önce Üçgenlenmiş Düzensiz Ağ (TIN) haritası oluşturma aracı kullanılarak TIN haritası, TIN haritasının raster formatına dönüştürülmesiyle de yeni bir DEM haritası oluşturulmuştur. Oluşturulan bu DEM haritası, model çalışmalarında güncel dönem için yükseklik verisi olarak kullanılmıştır.

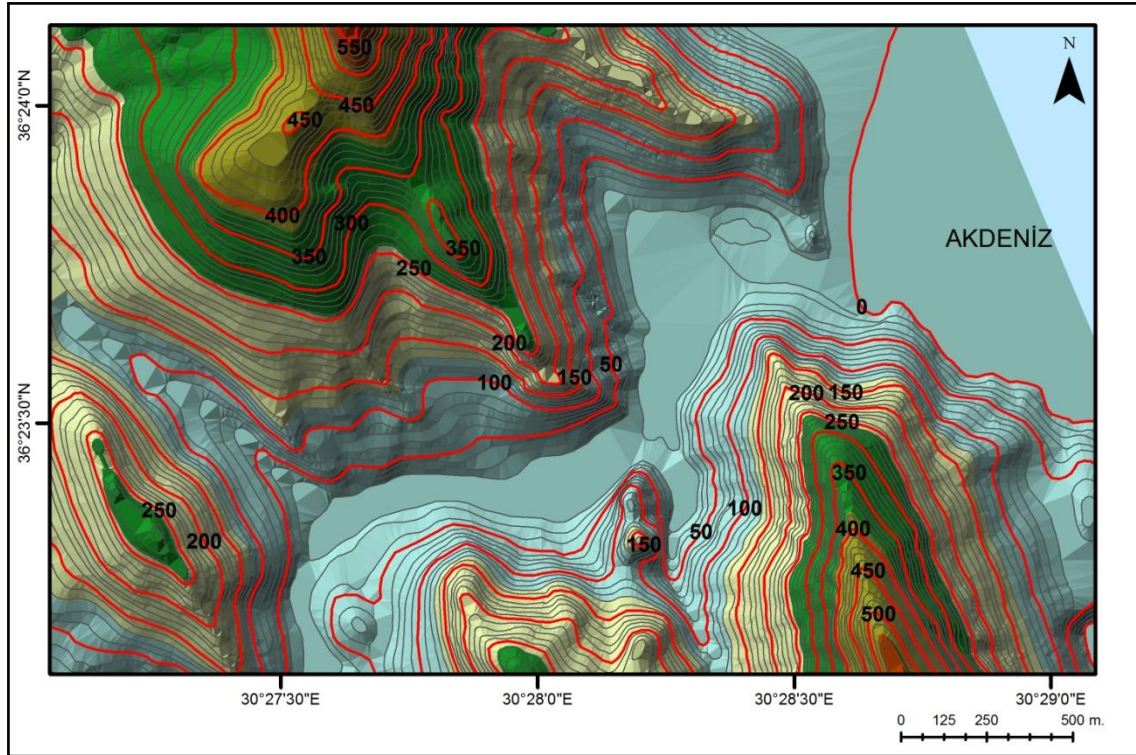
Tablo 5.1. Nivo ve şerit metre kullanılarak model alanı içerisinde ölçülen topoğrafik kot bilgileri

X	Y	Z
273445.391	4030984.032	3.635
273440.937	4030982.993	3.715
273447.387	4030985.116	3.675
273456.201	4030990.039	3.545
273459.017	4030990.652	3.655
273462.552	4030998.974	3.845
273470.677	4030996.766	3.645
273476.565	4030992.257	3.515
273469.717	4030991.143	3.545
273465.101	4030986.775	3.595
273459.626	4030986.630	3.565
273454.343	4030999.944	3.785
273457.807	4031004.277	3.875
273455.111	4031006.686	3.965
273452.144	4031006.616	4.315
273449.401	4031010.706	4.325
273446.205	4031013.547	4.175
273442.763	4031008.686	4.265
273439.783	4031004.415	3.955
273434.202	4031007.645	4.245
273432.230	4031012.989	4.175
273432.870	4031017.693	4.265
273437.763	4031021.387	4.725
273435.740	4031010.444	4.305
273445.290	4031020.305	4.475
273437.153	4031007.695	4.405
273428.701	4031004.966	4.145
273433.521	4031004.812	4.225
273434.638	4030999.936	3.745
273435.669	4030997.686	3.665
273431.257	4030991.307	3.775
273436.559	4030997.344	3.625

Eşyüksekti eğrileri ve topoğrafik nokta değerlerinin birlikte kullanılmasıyla oluşturulan TIN haritası Şekil 5.3'te verilmiştir.



Şekil 5.2. Topoğrafik kot ölçümü yapılan lokasyonları gösteren harita.



Şekil 5.3. Çizilen eşyüksekti eğrileri ve eğri ile noktalardan oluşturulmuş TIN haritası.

5.2.2. Buharlaşma ve yağış verileri

Hidrolojik çevrimin ölçülmesi en zor bileşeni olan evapotranspirasyon (ET), bitki yüzeyinden terleme (transpirasyon) ile birlikte toprak, bitki örtüsü ve açık su yüzeyi bulunan alanlardan doğrudan buharlaşma yoluyla kaybolan toplam su miktarı olarak tanımlanmaktadır. Doğrudan buharlaşma ve bitkilerin terlemesi yoluyla oluşan su kaybı aynı anda oluşur ve birbirinden ayırt etmenin kolay bir yolu olmadığından her iki terim birleştirilerek ET (evaporation + transpiration) olarak adlandırılmıştır. Bu terim; ETr ve ETp olarak iki şekilde ifade edilmektedir. ETr, var olan çevresel koşullara bağlı olarak gerçekleşen ET anlamında, ETp ise her zaman yeterli zemin nemi bulunduğu takdirde, meteorolojik şartlar altında meydana gelebilecek maksimum kayıp anlamında kullanılmaktadır.

ET değerini etkileyen etmenler arasında meteorolojik etmenler, bitki özellikleri ve çevresel faktörler bulunmaktadır. Meteorolojik etmenleri; hava sıcaklığı, nem, rüzgar ve güneş radyasyonu olarak sıralamak mümkündür. Bitkisel özellikler arasında, bitki boyları, bitkilerin ışınları yansıtma özelliği, toprağı kaplama oranı ve köklenmedeki farklılıklar olarak sıralamak mümkündür. Çevresel faktörler ise toprak tuzluluğu, toprağın işlenme durumu, sulama sıklığı, zararlılarla mücadele gibi durumları içermektedir. 1971-1975 yıllarında Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) bir danışma kurulu oluşturmuştur ve bu kurul buharlaşmanın deneysel olarak belirlenmesi için çalışmalar yapmıştır. Suyun sınırlı olmadığı koşullarda sağlıklı büyüyen, toprağı tamamen gölgeleyen, aynı boylu (8-15 cm), yoğun bir yüzeye sahip, yeşil çayır otu (çim) örtüsünden oluşan toplam buharlaşma, FAO tarafından referans buharlaşma (ETp) olarak tanımlanmıştır. FAO, bir referans ürünün toplam buharlaşmasını hesaplamak için en iyi metot olan Penman-Monteith yaklaşımının önerilmesinde oybirliği ile anlaşmaya varmıştır ve referans ürün için standart değerler Allen vd. (1989) tarafından detaylandırılmıştır. Penman-Monteith eşitliğinin (Denklem 5.1) lizimetrelerle ölçülen toplam buharlaşmaya en yakın sonuçları verdiği de görülmüştür (Mecham, 1996; Şimşek vd., 2013).

$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta (Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34 u_2)} \quad (5.1)$$

5.1 no.lu denklemde;

ET_0 :Referans bitki su tüketimi (mm/gün),

Δ :Buhar basıncı eğrisinin eğimi (kPa/°C),

R_n :Bitki yüzeyindeki net radyasyon (MJ/m²/gün),

G :Topraktaki ısı akısı yoğunluğu (MJ/m²/gün),

γ :Psikrometrik katsayı (kPa/°C),

T :2 m. yükseklikteki hava sıcaklığı (°C)

u_2 :2 m. yükseklikteki ortalama rüzgar hızı (m/s),

e_s :Ortalama hava sıcaklığında doymun buhar basıncı (kPa),

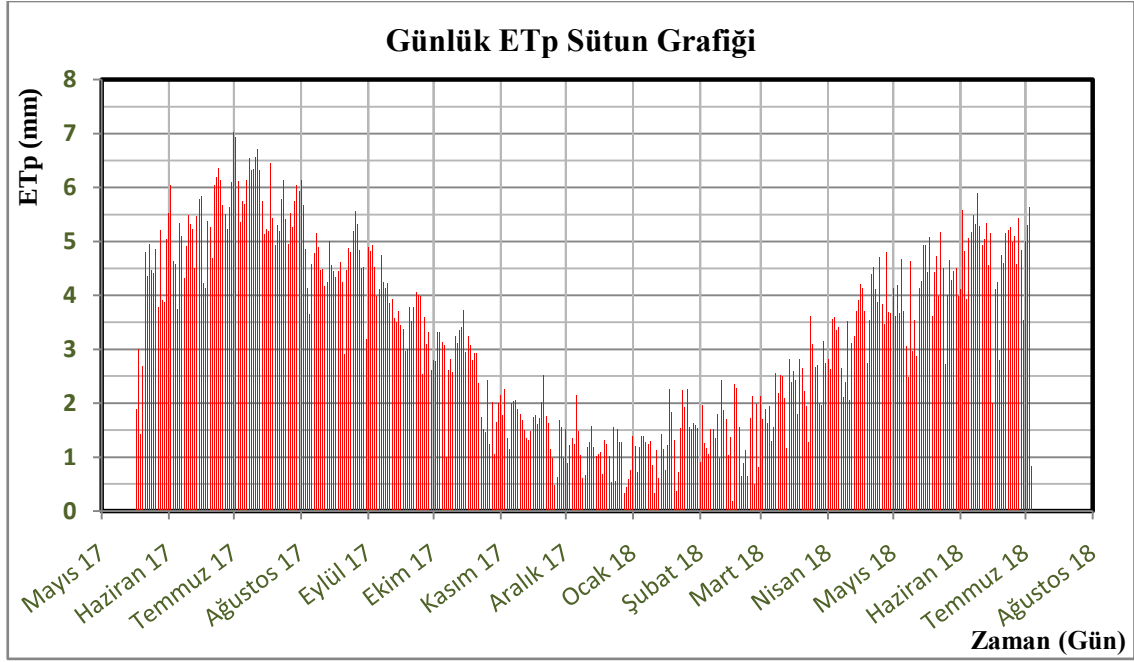
e_a :Ortalama hava sıcaklığındaki gerçek buhar basıncı (kPa) olarak temsil edilmektedir.

BAP komisyonunca kabul edilen 1604F162 no.lu proje kapsamında 17 Mayıs 2017 tarihinde bölgeye meteoroloji istasyonu kurulmuştur (Şekil 5.4).

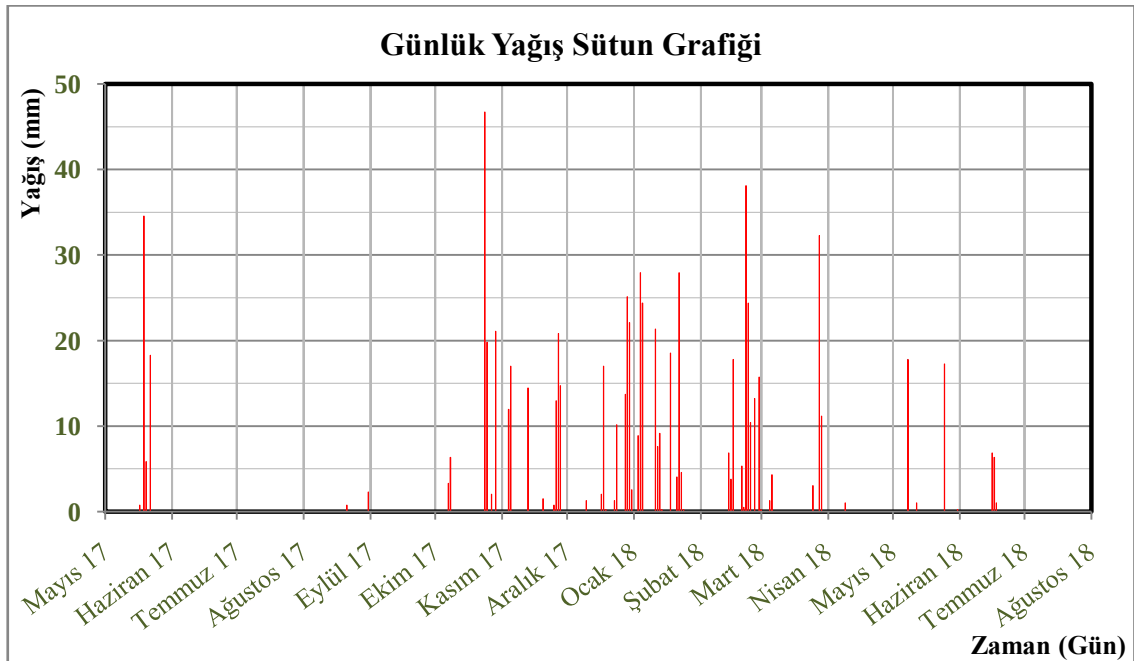


Şekil 5.4. Bölgeye 17 Mayıs 2017 tarihinde kurulan meteoroloji istasyonu

Kurulan meteoroloji istasyonundan yağış verileri ve potansiyel evapotranspirasyon (ETp) verileri mm türünde günlük olarak alınmıştır. 414 günlük toplam yağış miktarı 746.506 mm ve ortalaması ise 1.803 mm olarak hesaplanmıştır. Aynı zaman diliminde toplam ETp değeri 1354.978 mm ve ortalaması ise 3.273 mm olarak hesaplanmıştır. Günlük ETp sütun grafiği Şekil 5.5'te günlük yağış sütun grafiği ise Şekil 5.6'da verilmiştir.



Şekil 5.5. Günlük ETp sütun grafiği.



Şekil 5.6. Günlük yağış sütun grafiği.

5.2.3. Hidrolik iletkenlik katsayısı değerleri

Mozaikli Yapı'nın içerisinde bulunduğu alüvyonun hidrolik iletkenlik katsayısının ölçülmesi işlemi için, Mozaikli Yapı'nın içerisindeki suya belli bir miktarda izleyici boya maddesi olan Rodamin WT dökülmüştür (Şekil 5.7 ve 5.8). Rodamin WT; su içindeki aktarımı, suyun akış yönünü ve hızını belirlemek için izleyici boya olarak kullanılan kimyasal bir bileşiktir ve floresans gibi parlaması sebebiyle florometre cihazlarıyla kolayca gözlemlenebilir.



Şekil 5.7. İzleyici boyanın Mozaikli Yapı içerisinde bırakılması anında alınmış bir görüntü.



Şekil 5.8. İzleyici boyanın Mozaikli Yapı içerisinde bırakılmasından belli bir süre sonra alınmış görüntü.

Rodamin WT maddesinin Mozaikli Yapı içerisinde bırakılmasından bir süre sonra hidrolik eğimin gidiş yönüne doğru, Mozaikli Yapı etrafındaki Olympos Çayı yan akım kolları kenarında bir lokasyon belirlenmiş, bu lokasyonda boya maddesinin geçen zamana bağlı konsantrasyonu AquaFluor marka el tipi florometre cihazı (Şekil 5.9) ile ölçülmeye başlanmıştır (Şekil 5.10).



Şekil 5.9. AquaFluor marka el tipi florometre cihazı.

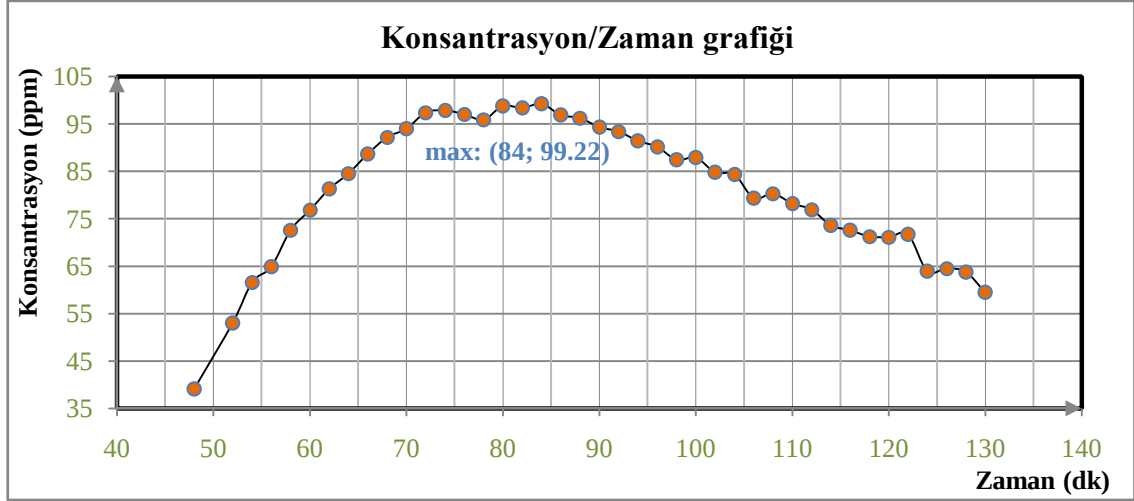


Şekil 5.10. Konsantrasyonun ölçülmesi sırasında alınmış bir görüntü.

Rodamin WT maddesi Mozaikli Yapı içerisinde (XY; 273446.205, 4031013.547) saat 14:20’de (t=0) atılmıştır konsantrasyon ölçümleri (XY; 273449.573, 4030984.212) 48 dakika sonra, saat 15:08’den başlayarak 16:30’a kadar devam etmiştir. Konsantrasyon, boyanın dökülmesinin ardından t=84 dk iken maksimum seviyesine ulaşmış (Tablo 5.2; Şekil 5.11), ardından tekrar düşüşe geçmiştir. Boyanın döküldüğü lokasyon ile, konsantrasyon ölçümünün yapıldığı lokasyon arasında tam 30 metre mesafe ölçülmüştür. Mozaikli Yapı’nın içinde bulunan suyun, direkt olarak yüzeysuyu bağlantısının olmadığı da bilinmektedir.

Tablo 5.2. İzleyici boya maddesinin zamana bağlı değişen konsantrasyon değerleri

Saat	t (dk)	Konsantrasyon değeri (ppm)	Saat	t (dk)	Konsantrasyon değeri (ppm)
14:20	0	-	15:50	90	94.31
15:08	48	39.09	15:52	92	93.40
15:12	52	53.01	15:54	94	91.39
15:14	54	61.60	15:56	96	90.13
15:16	56	64.87	15:58	98	87.40
15:18	58	72.60	16:00	100	87.87
15:20	60	76.86	16:02	102	84.80
15:22	62	81.28	16:04	104	84.31
15:24	64	84.55	16:06	106	79.31
15:26	66	88.64	16:08	108	80.30
15:28	68	92.18	16:10	110	78.15
15:30	70	93.95	16:12	112	76.91
15:32	72	97.37	16:14	114	73.57
15:34	74	97.83	16:16	116	72.56
15:36	76	97.04	16:18	118	71.24
15:38	78	95.88	16:20	120	71.11
15:40	80	98.75	16:22	122	71.70
15:42	82	98.37	16:24	124	63.91
15:44	84	99.22	16:26	126	64.50
15:46	86	96.85	16:28	128	63.74
15:48	88	96.22	16:30	130	59.47



Şekil 5.11. İzleyici boya maddesine ait konsantrasyon/zaman grafiği.

$$v_a = \frac{K}{\alpha} \cdot \frac{h}{L} \quad (5.1)$$

Denklem 5.1 (Todd ve Mays, 2004)'de verilen v_a , izleyici boya maddesinin akiferden geçerken sahip olduğu gerçek hızı anlamına gelmektedir. K hidrolik iletkenlik değerini, h izleyici boyanın atıldığı ve ölçümünün yapıldığı iki nokta arasındaki hidrolik yük değeri farkını, α poroziteyi, L ise iki nokta arasındaki mesafeyi belirtmektedir.

$$v_a = \frac{L}{t} \quad (5.2)$$

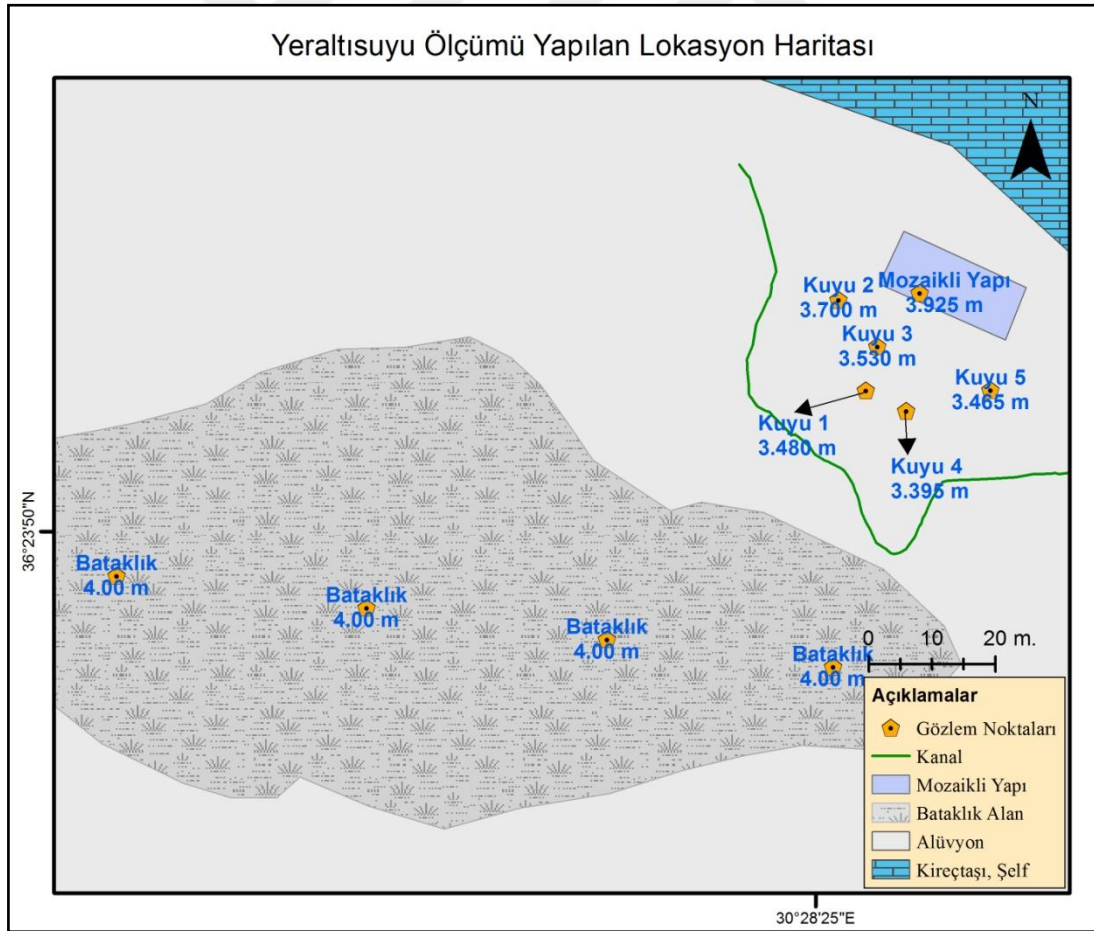
Denklem 5.2 (Todd ve Mays, 2004) izleyici boya maddesinin gerçek hızını başka bir şekilde ifade etmektedir. L, boya maddesinin atıldığı ve ölçümünün yapıldığı iki nokta arasındaki mesafeyi ve t ise boya maddesinin geçtiği süreyi ifade etmektedir. Denklem 5.1 ve 5.2 eşitlenerek hidrolik iletkenlik katsayısı değeri hesaplanabilmektedir (Denklem 5.3).

$$K = \frac{\alpha L^2}{ht} \quad (5.3)$$

Akım kolları arasındaki alüvyonal alanın hidroiletkenlik değeri Denklem 5.3 (Todd ve Mays, 2004) kullanılarak hesaplanmıştır. İki nokta arasındaki mesafe 30 m, iki nokta arasındaki hidrolik yük farkı 0.625 m, boyanın geçiş süresi 84 dk. olarak ölçülmüş ve porozite değeri %10 (0.1) olarak kabul edilmiştir. Buna göre, Mozaikli Yapı etrafındaki alüvyonal alanın hidroiletkenlik katsayısı değeri 2468.571 m/gün olarak hesaplanmıştır.

5.2.4. YASS kotu ve su seviyesi ölçümleri

16 ve 17 Mayıs 2017 tarihinde yapılan arazi çalışmalarının kapsamında Mozaikli Yapı ve yakın çevresinde 5 adet gözlem kuyusu açılmıştır. Açılan gözlem kuyularındaki su seviyeleri, 1 adet Mozaikli Yapı içerisinde su seviyesi ölçümü ve 4 adet de bataklık içerisinde su seviyesi ölçümü yapılmıştır (Şekil 5.12). Bu işlemler bittikten sonra nehir üzerinde de ölçümler yapılmış, bazı noktalardan nehre ait su seviyesi ölçümleri yapılmıştır. Açılan gözlem kuyularından ölçülen yeraltı su seviyesi (YASS) değerleri, Mozaikli Yapı içerisinde alınan su seviyesi değeri ve bataklık içerisinde ölçülen su seviyesi değerleri Tablo 5.3'te verilmiştir. Bu işlemler sırasında tüm koordinat ölçümleri GPS ile yapılmış, GPS bağlantısının zayıf olmasından kaynaklı olarak GPS'in koordinat verisinin z bileşenini tam ölçememesi sebebiyle hem su seviyesi ölçülecek lokasyonların z bileşenleri hem de yeraltı su kotları, nivo ve şerit metre kullanılarak belirlenmiştir.



Şekil 5.12. Yeraltı su seviyesi ölçümü yapılan lokasyonların haritası.

Tablo 5.3. Yeraltısuyu seviyesi ölçümü yapılan noktaların koordinatları ve su seviyeleri

Gözlem Noktası	X	Y	Su Seviyesi (m)
Kuyu 1	273437.633	4030998.172	3.480
Kuyu 2	273433.366	4031012.48	3.700
Kuyu 3	273439.499	4031005.133	3.530
Kuyu 4	273444.037	4030994.943	3.395
Kuyu 5	273457.349	4030998.245	3.465
Mozaikli Yapı	273446.205	4031013.547	3.925
Bataklık	273319.200	4030968.900	4.00
Bataklık	273358.700	4030963.900	4.00
Bataklık	273396.700	4030958.900	4.00
Bataklık	273432.500	4030954.600	4.00

Gözlem kuyularının açılması esnasında alınmış bir görüntü Şekil 5.13'te verilmiştir.



Şekil 5.13. Gözlem kuyularının açılması esnasında alınmış bir görüntü.

Mozaikli Yapı'yı doğu ve batı yönünde çevreleyerek güneyde birleşen Olympos Çayı yan kolları üzerinde ölçülen su seviyesi, koordinatları ve o noktadaki nehir tabanı kotları ile birlikte Tablo 5.4'de verilmiştir. Mozaikli Yapı'nın çevresindeki yan akım kolları için ortalama derinlik değeri 0.5 m olarak kullanılmıştır. Taban kotları, bulunduğu hücredeki su seviyesinden, bahsedilen 0.5 m derinlik değerinin çıkarılmasıyla hesaplanmıştır.

Tablo 5.4. *Olympos Çayı yan kolları üzerinden alınan su seviyesi ölçümleri*

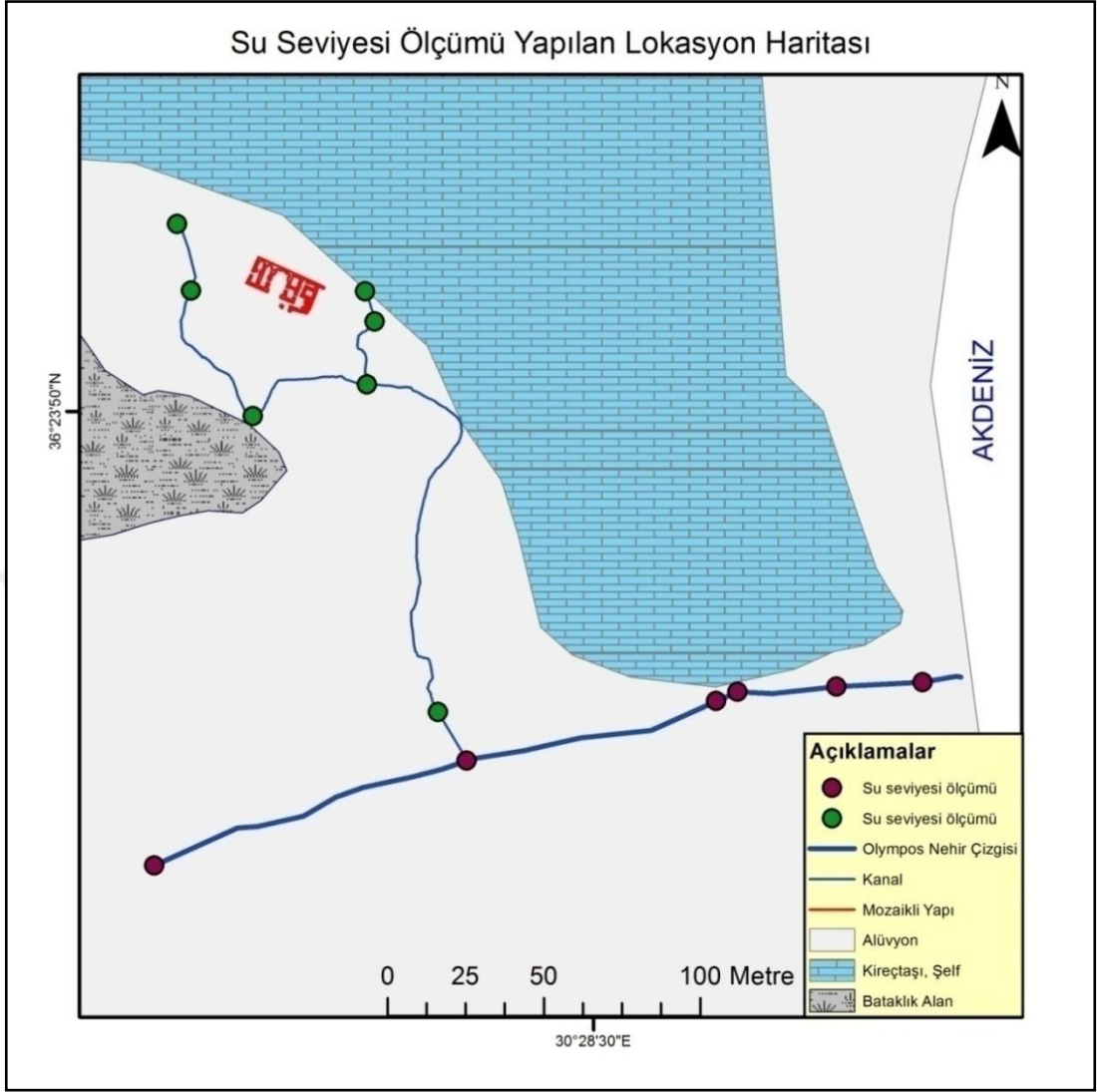
Koordinat (X)	Koordinat (Y)	Su seviyesi (m)	Derinlik (m)	Taban Kotu (m)
273417.5823	4031033.837	4.2	0.5	3.7
273422.1078	4031012.563	4.085	0.5	3.585
273441.7656	4030972.474	3.523	0.5	3.023
273477.7012	4031012.345	4.5	0.5	4.0
273480.779	4031002.714	4.087	0.5	3.587
273478.3306	4030982.595	3.2	0.5	2.7
273500.9917	4030877.863	2.0	0.5	1.5

Olympos Çayı üzerinden yapılan su seviyesi ölçümleri Tablo 5.5'de koordinatlarıyla birlikte verilmiştir.

Tablo 5.5. *Olympos Çayı üzerinden yapılan su seviyesi ölçümleri*

Koordinat (X)	Koordinat (Y)	Su Seviyesi
273589.9456	4030881.342	1.039
273510.1435	4030862.35	1.089
273410.311	4030828.799	1.154
273596.771	4030884.378	1.039
273628.381	4030885.994	1.076
273655.92	4030887.418	1.012

Olympos Çayı ve Olympos Çayı'nın yan kolları üzerinde su seviyesi ölçümü yapılan lokasyonların haritası Şekil 5.14'te verilmiştir.



Şekil 5.14. *Olympos Çayı ve Olympos Çayı'nın yan kolları üzerinde su seviyesi ölçümü yapılan lokasyonların haritası.*

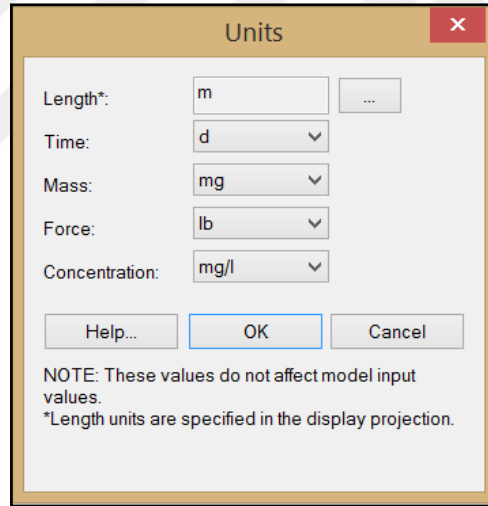
6. YERALTISUYU AKIMI MODELLERİNİN ÜRETİLMESİ

6.1. Kavramsal Model Oluşturma ve Geliştirme İşlem Adımları

Tez kapsamında yapılan tüm modelleme çalışmaları, aşağıdaki başlıklarda belirtildiği sırayla yapılmıştır.

6.1.1. Birimlerin düzenlenmesi

GMS model programında herhangi bir işlem yapmadan önce, model çalışması içerisinde kullanılacak olan temel ölçü birimlerinin düzenlenmesi gerekmektedir. Programının Edit modülü kullanılarak bu işlem yapılabilmektedir. Tez kapsamında üretilen tüm sayısal modellerde uzunluk birimi için metre (m), zaman birimi için gün (d) seçilmiştir. Modeller içerisine kütle (mass), kuvvet (force) ya da derişim (concentration) birimleri ile ilgili herhangi bir veri girişı yapılmayacağı için, bu birimler programın varsayılan ayarlarında olduğu şekilde bırakılmıştır (Şekil 6.1).



Şekil 6.1. Kullanılacak birimlerin düzenlenme ekranı.

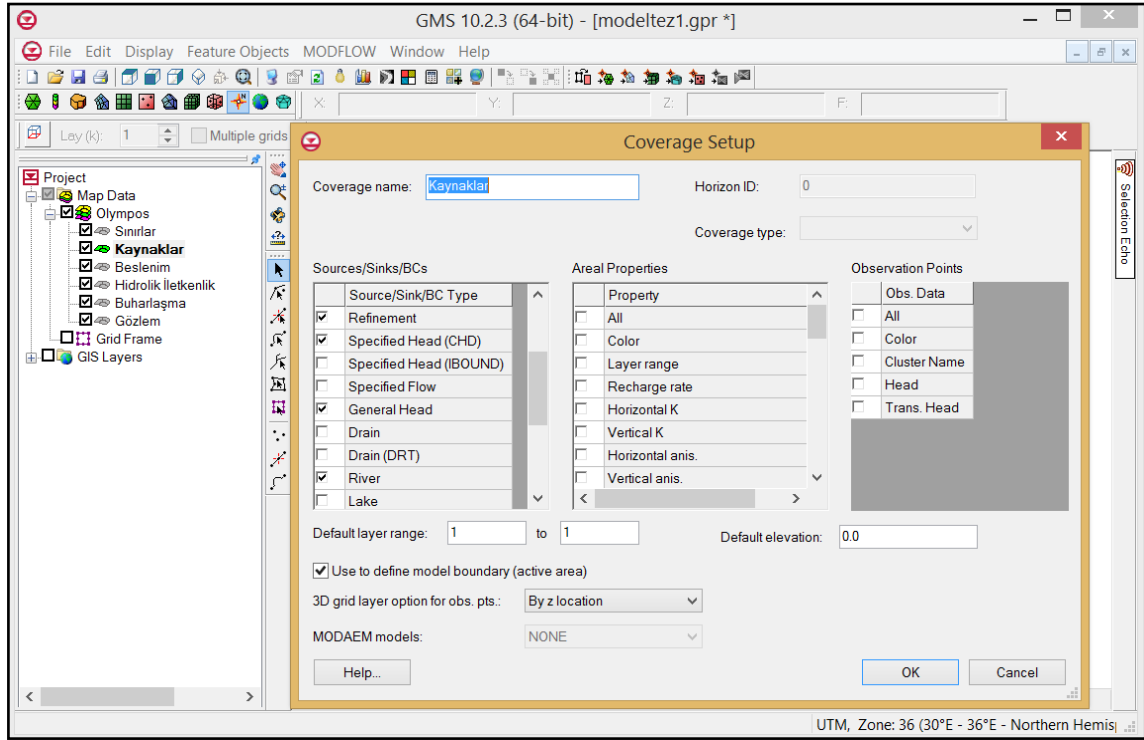
6.1.2. Projeksiyon tanımlanması

Olympos antik kenti, tam olarak UTM 36. zonda bulunmaktadır. Bu sebeple modelleme çalışmalarının tamamı için programın projeksiyon ayarı; UTM, Zone: 36 (30°E - 36°E - Northern Hemisphere), WGS84 olarak tanımlanmıştır.

6.1.3. Kavramsal model (conceptual model) ve kapsamların (coverage) oluşturulması

Temel ölçü birimlerinin ve projeksiyonun tanımlanmasından sonra kavramsal model oluşturulması işlemi gelmektedir. Kavramsal model oluşturulmuş ve içerisine alt

kapsamlar eklenmiştir. Kapsam ayarları diyalog penceresi Şekil 6.2’de verilmiştir. Açılan her kapsam için gereken paketler tanımlanmıştır ve gereken noktasal ya da alansal veriler kavramsal modele girilmiştir.



Şekil 6.2. Kapsam ayarları penceresi.

Tez çalışması içerisinde kullanılan tüm kapsamlar, aşağıda listelenmiştir.

Modellerdeki sınırlarını oluşturmak için “Sınırlar”, su giriş ve çıkış noktalarının tanımlanması için “Kaynaklar”, model alanlarındaki beslenimin tanımlanabilmesi için “Beslenim”, model alanlarının hidrolik iletkenlik değerinin tanımlanabilmesi için “Hidrolik İletkenlik”, ET değerlerinin tanımlanabilmesi için “Buharlaşma” ve güncel dönem modellemesi yapılırken alanlar içerisinde gözlemlenen su seviyesi değerlerinin girilebilmesi için “Gözlem” isimli alt kapsamlar açılmıştır. Oluşturulan kapsamların, kapsam ayarları yapılmış gerekli olan paketler her birine tanımlanmıştır. Kapsamların içine tanımlanan paketler ve paketler için kullanılması gereken parametrelerin listesi Tablo 6.1’de verilmiştir. Tablo 6.1’de verilen son 3 parametre için, yeni bir kapsam açılmamıştır. Açılan “Hidroiletkenlik” isimli kapsamın içerisine dahil edilmişlerdir.

Tablo 6.1. Kullanılan paketler ve paketlerin tanımlanabilmesi için gereken parametreler

Kapsamlar	Tür	Gereken Parametreler
Kaynaklar (Sources)	Sabit Yük (CHD)	Su Seviyesi (m)
	Genel Yük (GHB)	Su Seviyesi (m)
		İletimlilik Katsayısı [(m ² /gün)/m]
	Nehir (River)	Su Seviyesi (m)
		Nehir Tabanı Kotu (m)
		İletimlilik Katsayısı [(m ² /gün)/m]
Beslenme (Recharge)		Beslenme Oranı (m/gün)
Buharlaşma (ET)		Maksimum ET oranı (m/gün)
		ET yüksekliği (m)
		ET bitiş derinliği (m)
Hidrolik İletkenlik (Hydraulic Conductivity)		Yatay Hidrolik İletkenlik Katsayısı (m/gün)
Gözlem (Observation)	Su Seviyesi (Head)	Su Seviyesi (Obs. Head; m)
		Gözlem Değer Aralığı (Obs. Head Interval; m)
		Gözlem Güvenilirliği (Obs. Head Conf.; %)
		Özgül Depolama (Spec. Storage; 1/m)
		Özgül Verim (Spec. Yield; birimsiz)
		Porozite (Porosity; birimsiz)

“Kaynaklar” isimli kapsam içerisine; Sabit Yük (Specific Head; CHD), Nehir (River) ve Genel Yük (General Head; GHB) paketleri tanımlanmıştır.

CHD paketi; güncel dönem modellemelerinde Olympos Çayı’nı ve kıyı çizgisini temsil etmek için kullanılmıştır. Geçmiş dönem modellemelerinde ise paleogöl ve kıyı çizgilerini temsil etmek için kullanılmıştır.

Nehir paketinin tanımlanabilmesi için, yay üzerinde nehir yatağı iletimlilik katsayısının, nehir tabanı kot değerlerinin ve ölçülen nehir seviyesi değerlerinin girilmesi gerekmektedir. Nehir yatağı iletimlilik katsayısı [(m²/gün)/m]; hidrolik iletkenlik (K; m/gün) ve nehir alanı (A; m²) çarpımının, nehir uzunluğuna (L; m) oranıdır. Nehir paketi; güncel dönem modelle çalışmasında, Mozaikli Yapı etrafındaki Olympos Çayı’nın yan akım kollarını temsil etmek için kullanılmıştır. Geçmiş dönem modellemelerinde bu paket kullanılmamıştır.

GHB paketi; genel yük sınırını ifade etmektedir. Genel yük yaylarının üzerine iletimlilik katsayılarının [(m²/gün)/m] ve yay üzerinde oluşturulacak noktalara da bulundukları lokasyondaki hidrolik yük değerlerinin tanımlanması gerekmektedir. Alüvyon akiferine karst akiferinden yanal beslenimi tanımlayabilmek için, tüm

modellerde alüvyon akiferiyle karst akiferi arasındaki sınıra yeraltısuyu akımının oluşacağı şekilde genel yük sınırı tanımlaması yapılmıştır.

Buharlaştırma paketi tanımlanırken, buharlaştırma miktarı (Max ET rate; m/gün), buharlaştırma kotu (ET elev.; m) ve buharlaştırma bitiş derinliği (ET ext. depth; m) bilgilerinin girilmesi gerekmektedir. Buharlaştırma yüzey kotu da her hücrenin topoğrafya kotuna, MODFLOW'un "Optional Packages" ayarlarından EVT-Evapotranspiration diyalog penceresi kullanılarak eşitlenmelidir. Tez kapsamında, her bir modelleme çalışmasında tek bir ET alanı tanımlanmıştır.

Beslenim (Recharge) paketi tanımlanırken, model alanı üzerindeki beslenim değerleri tanımlanmalıdır. Tez kapsamında, her bir modelleme çalışmasında tek bir beslenim alanı tanımlanmıştır.

6.1.4. Grid ağlarının oluşturulması

Kavramsal modelin, sayısal modele dönüştürülebilmesi için grid hücrelerine bölünmesi gerekmektedir. Bu sebeple Sonlu Fark Grid Ağı (Finite Difference Grid) oluşturma işlemi yapılmalıdır. Model çalışmalarında hücreler 5 m x 5 m XY çözünürlüklü olarak oluşturulmuş ve modellerde tek katmanlı çalışıldığı için Z eksenindeki hücre sayısı 1 olarak girilmiştir. Şekil 6.3'de sonlu fark grid ağı oluşturma penceresi verilmiştir.

Şekil 6.3. Sonlu Fark Grid Ağı oluşturma penceresi.

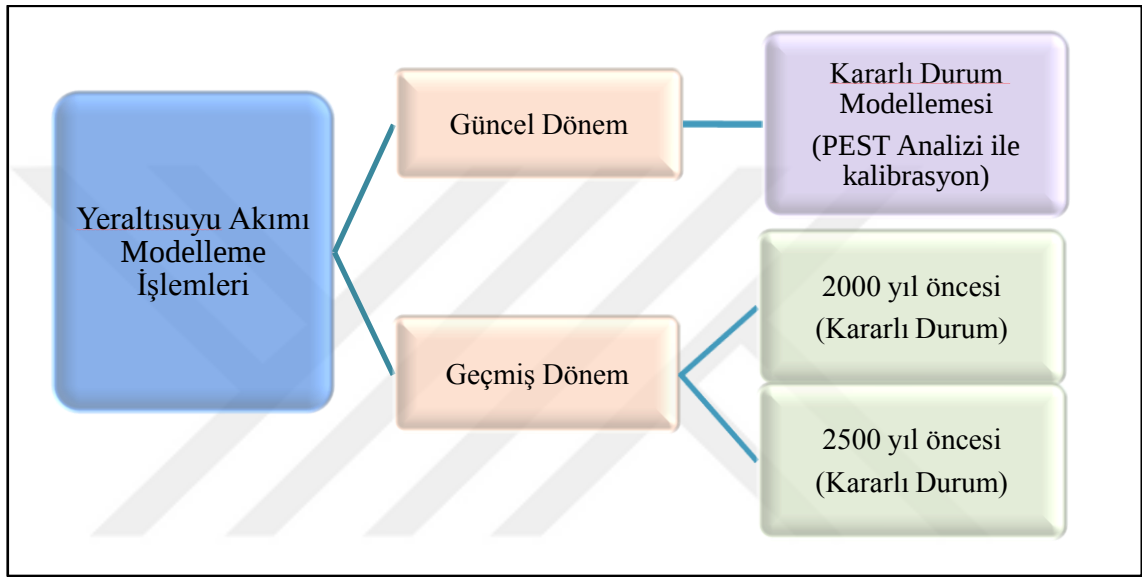
6.1.5. Topoğrafya verilerinin girilmesi

Model çalışmalarında ArcGIS programı kullanılarak CBS ortamında üretilen DEM haritaları, GIS modülü kullanılarak programa eklenmiştir. DEM haritası, model

yüksekliğine eşitlendikten sonra, modeller MODFLOW tarafından çalıştırılmış ve yeraltısu benzeşimleri üretilmiştir.

6.2. Benzeşimlerin (Simülasyon) Üretilmesi İşlemleri

Yeraltısu akımı modelleme işlemleri genel olarak güncel dönem ve geçmiş dönem modellemeleri olarak iki ayrı başlıkta çalışılmıştır (Şekil 6.4). Her dönem için yapılan çalışmalar, alt başlıklarda detaylarıyla anlatılmıştır.



Şekil 6.4. Modelleme işlemlerinin başlıksal gösterimi.

6.2.1. Güncel dönem Olympos antik kent modellemesi

Olympos antik kenti alüvyon akiferinin güncel döneme ait yeraltısu akımı modellemesi; modelin çalıştırılması ve ardından Parameter Estimation Software (PEST) analizi ile kalibrasyonunun yapılarak tekrar çalıştırılması şeklinde iki başlık altında çalışılmıştır.

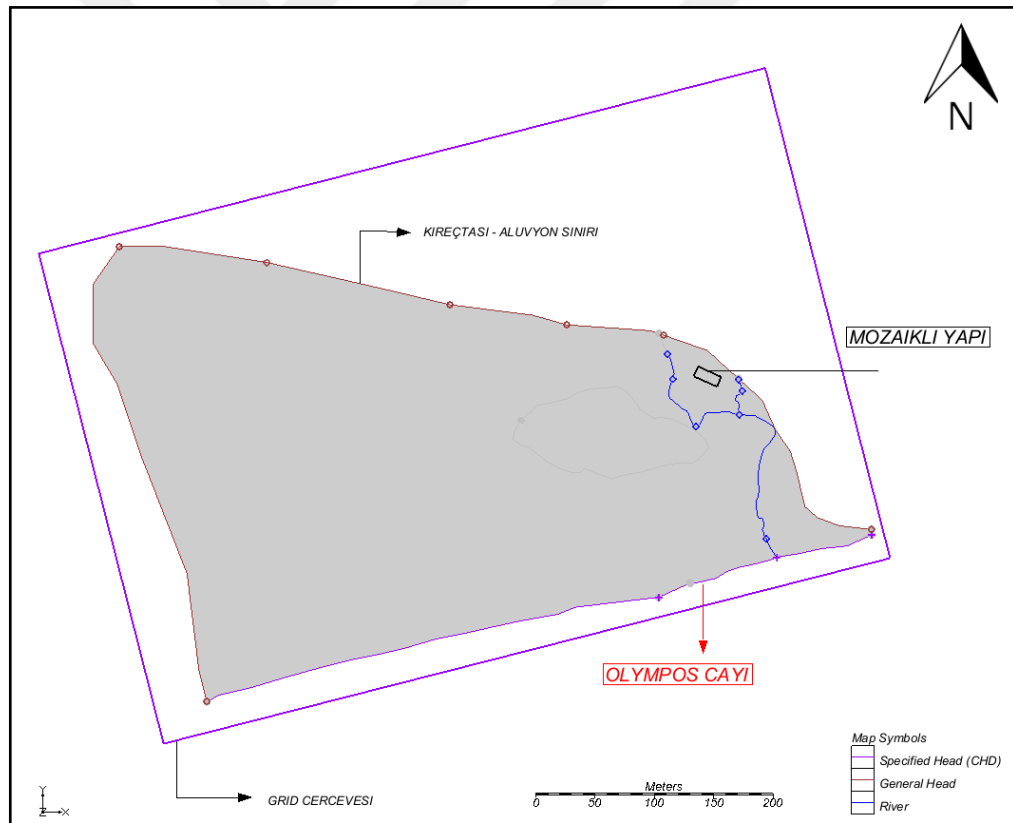
Model çalışmasında kullanılacak olan temel ölçü birimleri düzenlemesi yapılmış ve projeksiyon tanımlanması yapılmıştır. Ardından kavramsal model oluşturulmuş ve içerisine alt kapsamlar eklenmiştir.

“Kaynaklar” isimli kapsam içerisine; Sabit Yük (Specific Head; CHD), River (Nehir) ve Genel Yük (General Head; GHB) paketleri tanımlanmıştır. CHD paketi; Olympos Çayı’nın kuru ve ıslak olmak üzere tamamını temsil etmek için kullanılmıştır. Nehir paketi; Mozaikli Yapı’yı çevreleyerek güneyde birleşen Olympos Çayı yan akım kollarını tanımlamak için kullanılmıştır. GHB paketi, alüvyon akiferine karst akiferinden yanal beslenimi tanımlayabilmek için, alüvyon akiferiyle karst akiferi

arasındaki sınıra yeraltısuyu akımının oluşacağı şekilde genel yük sınırı temsil etmek için kullanılmıştır (Şekil 6.5). Genel yük yayları üzerine iletimlilik katsayısı olarak 2.0 ($\text{m}^2/\text{gün}$)/m değeri tanımlanmıştır. Yaylar üzerinde oluşturulan noktalara girilen hidrolik yük değerleri Tablo 6.2’de koordinatlarıyla birlikte verilmiştir.

Tablo 6.2. Güncel dönem için üretilen kararlı durumdaki modelde genel yük sınırı için girilen su seviyesi değerleri

Tür	X	Y	Su Seviyesi (m)
gen. head	273332.7892	4031058.288	5.00
gen. head	273414.6645	4031049.486	5.00
gen. head	272955.3899	4031124.175	5.00
gen. head	273589.6407	4030885.898	5.00
gen. head	273234.1554	4031075.28	5.00
gen. head	273079.8501	4031110.84	5.00
gen. head	273029.2413	4030740.869	4.00



Şekil 6.5. Model sınırları ve model alanındaki kaynakların gösterimi.

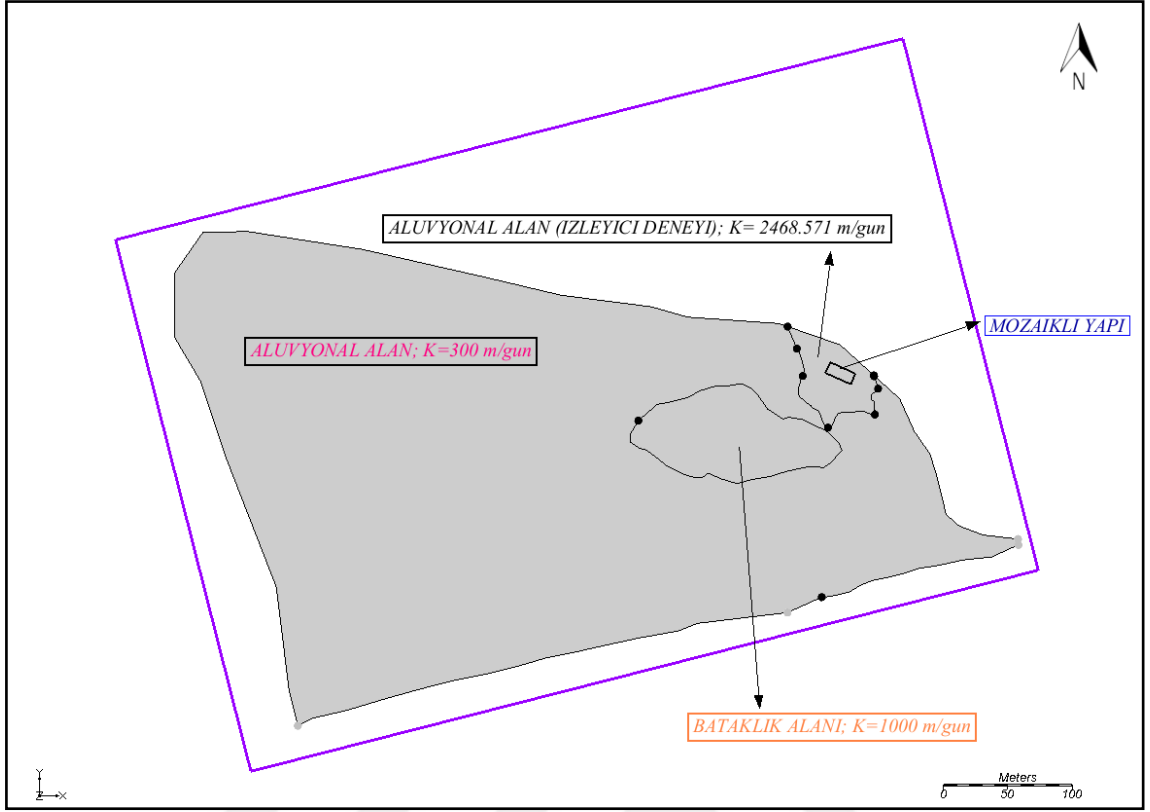
Olympos Çayı, sabit yük sınırı olarak tanımlanmıştır ve üzerine noktalar oluşturularak Çay üzerinden ölçülen su seviyesi değerleri (Tablo 5.5) o noktalara tanımlanmıştır. Olympos Çayı yan akım kollarını tanımlamak için oluşturulan nehir yayı üzerinde, genel yük ve sabit yük yaylarında olduğu gibi noktalar oluşturulmuş ve

yan akım kollarından ölçülen su seviyesi değerleri o noktalara girilmiştir. Kanalların derinliği için 0.5 m değeri kullanılmıştır. Nehir yayı için nehir yatağı iletimlilik katsayısı 1×10^{-6} (m²/gün)/m olarak hesaplanmıştır. Taban derinliği için 0.5 m değerleri kullanılmıştır (Tablo 5.4).

“Beslenim” isimli kapsama, model alanına giren beslenme değerinin tanımlanması yapılmıştır. Model kararlı durumda çalıştırılacağından, tek bir beslenim değeri elde edebilmek için, meteoroloji istasyonundan alınmış 414 günlük yağışın (17 Mayıs 2017 – 04 Temmuz 2018) aritmetik ortalaması kullanılmıştır. Ortalama değer 1.803 mm/gün olarak hesaplanmıştır. Yağışın %70’inin de süzülme (infiltration) yoluyla beslenime geçtiği kabul edilmiştir. Böylelikle modelin alansal beslenim değeri 0.0012621 m/gün olmaktadır.

Model alanı içerisindeki boşalımsal değerleri tanımlayabilmek adına, “Buharlaşma” isimli kapsam açılmıştır. Model alanı içerisindeki tek boşalımın, ET yoluyla olduğu bilinmektedir. Beslenim değerinde olduğu gibi, model kararlı durumda üretildiğinden tek bir ET değeri tanımlanacaktır. Bu değer hesaplanması; 414 günlük ET değerinin (17 Mayıs 2017 – 04 Temmuz 2018) aritmetik ortalaması kullanılarak yapılmıştır. Ortalama değer 3.273 mm olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan değer, tüm model alanına 0.003273 m/gün olarak girilmiştir. Buharlaşma bitiş derinliği için 2 m değeri girilmiştir. Diğer yandan buharlaşma yüzey kotu da her hücrenin topoğrafya kotuna eşitlenmiştir.

Hidrolik iletkenlik katsayısı değerleri için; iki akım kolu arasında kalan ve kireçtaşı ile sınırlanmış alüvyonal bölge için izleyici deneyi ile elde edilen değer olan 2468.571 m/gün değeri girilmiştir. Diğer taraftan, bölgede bataklık bulunmaktadır. PEST analizi öncesinde, bataklık alanı için hidroiletkenlik katsayısı değeri 1000 m/gün olarak tanımlanmıştır. İki akım kolu arasında ve bataklık dışında kalan tüm diğer alüvyonal bölge için yine tahmini bir değer olarak 300 m/gün değeri verilmiştir (Şekil 6.6). Daha sonraki aşama olan PEST analizinde, model tarafından hidrolik iletkenlik katsayısı değeri arazide ölçülememiş olan bu iki alan için hidroiletkenlik katsayısı değerleri hesaplatılacaktır.

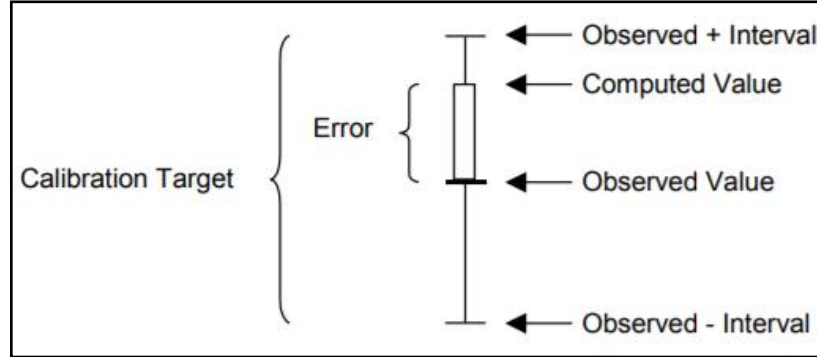


Şekil 6.6. Model alanı içerisinde farklı hidrolik iletkenlik değerleri içeren bölgelerin gösterimi.

Alüvyonal bölgenin çakıl-iri kum tane boyundaki malzemeden oluştuğu göz önünde bulundurularak, model alanının porozite değeri %10 (0.1) olarak kabul edilmiştir. Aynı zamanda, akifer için S_y ve S_s değerleri de tanımlanmıştır. Alüvyon akiferinde özgül verimin, özgül depolamadan daha büyük bir değer alması gerektiği göz önünde bulundurularak; S_y değeri için 0.25, S_s (1/m) değeri için 0.05 kabul edilmiştir. Porozite, S_y ve S_s değerleri yeni birer kapsam açılmadan, “Hidrolik İletkenlik” adıyla açılmış olan kapsam içerisine eklenmiştir.

“Gözlem” isimli kapsama, arazi çalışmalarıyla elde edilen yeraltısuyu seviyesi değerleri (Tablo 5.3) tanımlanmıştır. Gözlem verileri modele eklenirken, gözlem değeri aralığı (Obs. Head Interval), gözlem değeri güvenilirliği (% , Obs. Head conf) bilgilerinin girilmiş olması gerekmektedir. Gözlem değeri aralığı sütununa verilen değer, verinin bulunduğu hücrede model tarafından hesaplanan değer ile gerçek değer arasındaki farkı temsil etmektedir. Gözlem noktasının yanındaki renkli çubuk temel olarak hatayı temsil eder. Hesaplanan değer, hedefin $\pm$ olarak değer aralığı içindeyse çubuk yeşil renklidir. Değer, hedef aralığının dışında ancak hata %200’den büyük değilse turuncu renklidir. Aynı değer %200’den büyük olduğunda ise çubuk kırmızı renklidir (http-15). Modelin uygun kabul edilebilmesi için çubuğun yeşil renkli olması

gerekmektedir. Gözlem noktalarının yanındaki kalibrasyon aralığı ve hata durumunu gösteren çubukların açılımı Şekil 6.7’de verilmiştir.

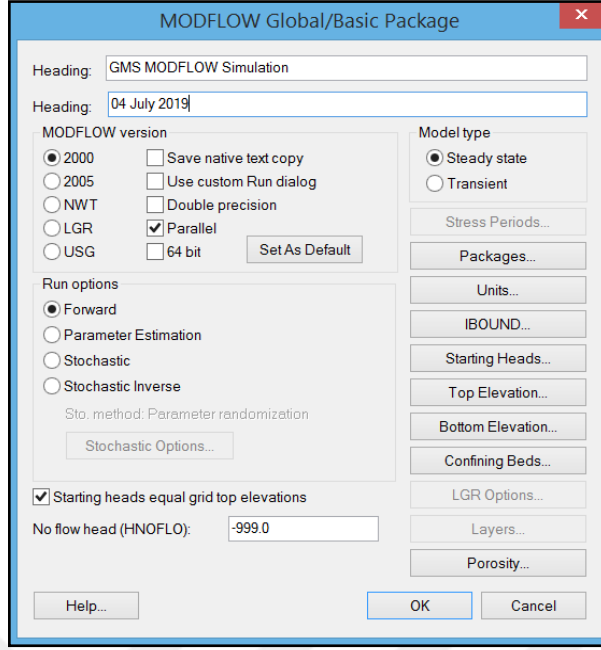


Şekil 6.7. Kalibrasyon aralığı ve hata durumunu gösteren çubukların açıklaması (http-15).

Aralık değeri ± 1 olarak girilmiştir. Bu da; eğer hesaplanan değer, gerçek değer ± 1 değer aralığı içerisindeyse, hesaplamanın uygun olduğunu göstermektedir. Gözlem değeri güvenilirliğinin %95 olması istenmiştir.

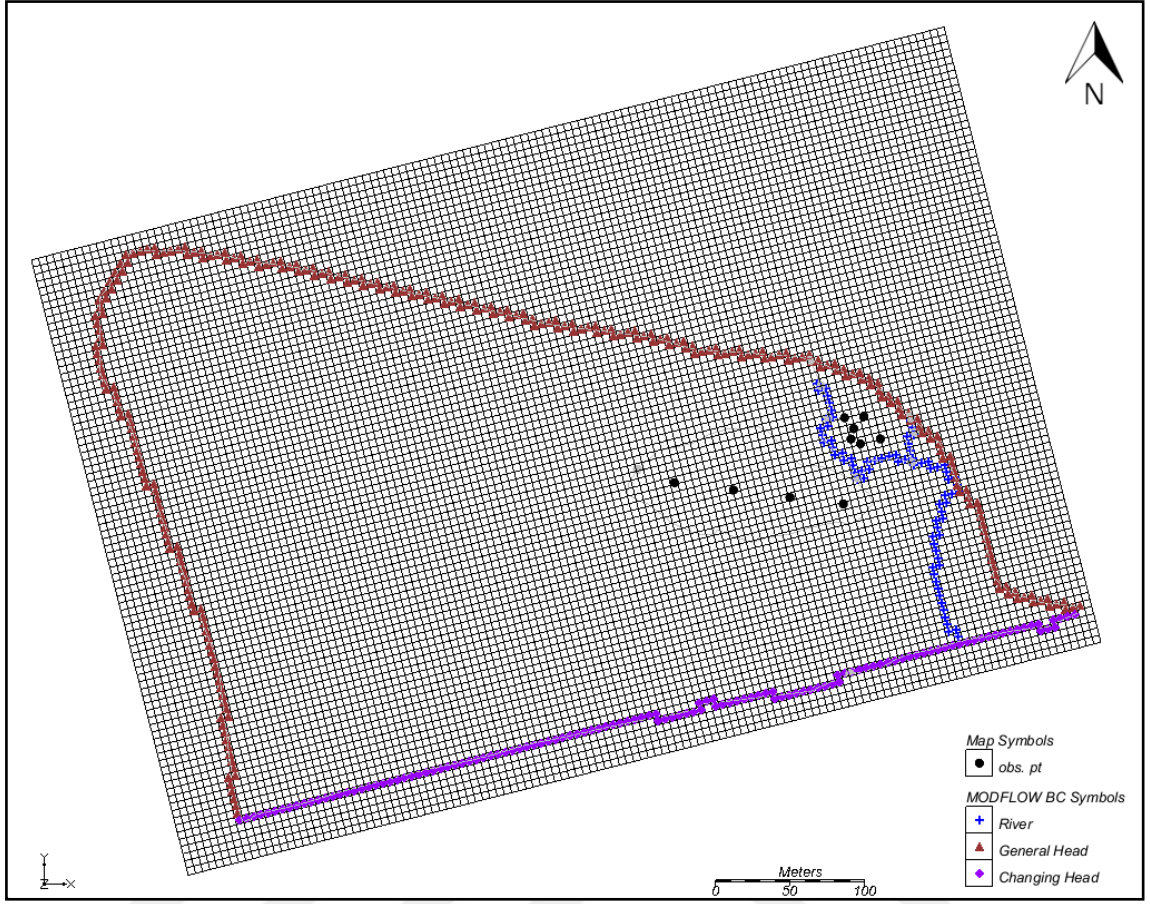
Model alanına girilen tüm değerler tamamlandıktan sonra, kavramsal modelin grid tabanlı sayısal akım modeline dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu sebeple önce gridler oluşturulmalı, ardından modele simülasyon eklenmelidir. XY eksenlerindeki uzunlukları 5 m x 5 m olan grid hücreleri oluşturulmuştur. Aktif ve aktif olmayan hücreler dahil toplamda 10922 hücre oluşturulmuştur. Grid ızgarasının toplam alanı yaklaşık 0.273 km²dir.

Proje Gezini (Project Explorer) ekranından Grid’e sağ tıklayarak “New MODFLOW” seçeneğinin seçilmesi gerekmektedir. Açılan pencereden MODFLOW versiyon (MODFLOW version): “2000”, Model türü (Model type): Kararlı durum (Steady State), Çalıştırma ayarları (Run Options): ileri (Forward) olarak seçilmiştir (Şekil 6.8).



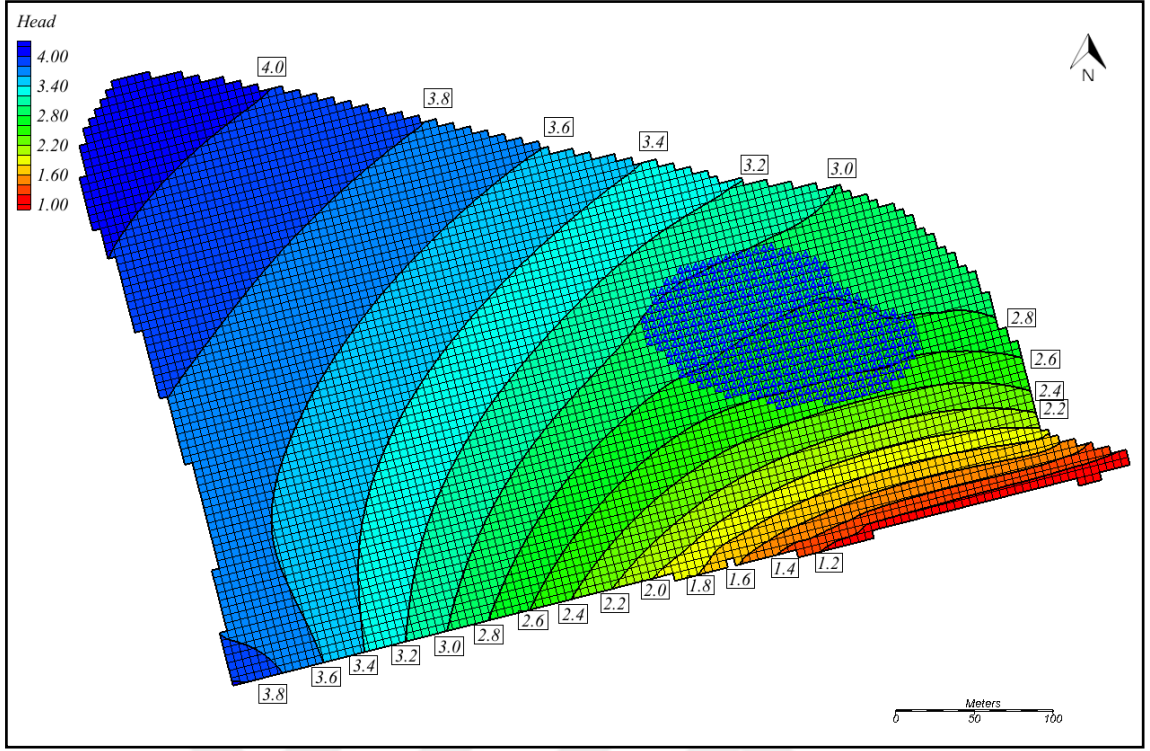
Şekil 6.8. “MODFLOW Global/Basic Package” diyalog penceresi.

Proje gezgininde yeni MODFLOW oluşturulduktan sonra, kavramsal modelin MODFLOW’a aktarılması gerekmektedir. Bu işlem için “Feature Objects” modülü içerisinde “Map to → MODFLOW” komutunun seçimi yapılarak kavramsal modelin MODFLOW’a aktarımı sağlanmıştır (Şekil 6.9).



Şekil 6.9. Güncel dönem için üretilen kavramsal modelin MODFLOW'a aktarılması.

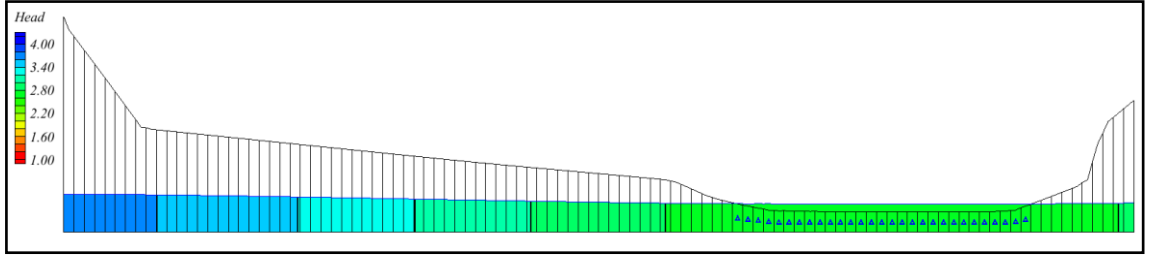
Son olarak, topoğrafya verilerinin MODFLOW katmanlarına tanımlanması gerekmektedir. Bu sebeple CBS ortamında oluşturularak GMS model programına eklenmiş olan DEM raster haritası kullanılmış ve “Interpolate to → MODFLOW Layers” komutu seçilerek MODFLOW katman yüksekliğine topoğrafyanın ataması sağlanmıştır. MODFLOW modülünden “Run MODFLOW” seçimi yapılarak güncel durum için üretilen benzeşim oluşturulmuştur (Şekil 6.10). Su seviyesi değerleri benzeşim üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 6.10. Güncel dönem için kararlı durumda oluşturulan güncel dönem yeraltısuyu benzeşimi.

Modelin çalıştırılmasıyla birlikte oluşan benzeşimdeki aktif hücre sayısı 6320, inaktif hücre sayısı (IBOUND = 0) 4602 olarak oluşmuştur. Model benzeşim boyunca inaktif olan hücreler için hesaplama yapmamış olmakla birlikte, hesaplamalar sadece aktif olan 6320 hücre için yapılmıştır. Aktif olarak ifade edilen model alanı 0.158 km²'dir. Model tarafından hesaplanan yeraltısuyu seviyesi değer aralığı 1.0405 m ile 4.1116 m arasında değişmektedir ve su seviyesinin kuzeybatıdan güneydoğuya doğru giderek alçaldığı görülmektedir. Bataklık alanı ve çevresinde oluşan mavi renkli küçük üçgenler, suyun o hücrede topoğrafyanın üzerine taşıdığını göstermektedir. Topoğrafyanın üzerinde görüntülenen yeraltısuyu, eskiden göl olan bölge ve yakın çevresinde toplanmıştır. Toplamda 521 hücrede su, topoğrafyanın üzerine taşmış durumdadır. Suyun seviyesinin bulunduğu topoğrafyanın üzerinde olduğu toplam alan yaklaşık 0.013 km²'dir. Mozaikli Yapı'nın bulunduğu lokasyondaki hücrelerin ortalama hidrolik yük değeri 2.8887 m olarak hesaplanmıştır.

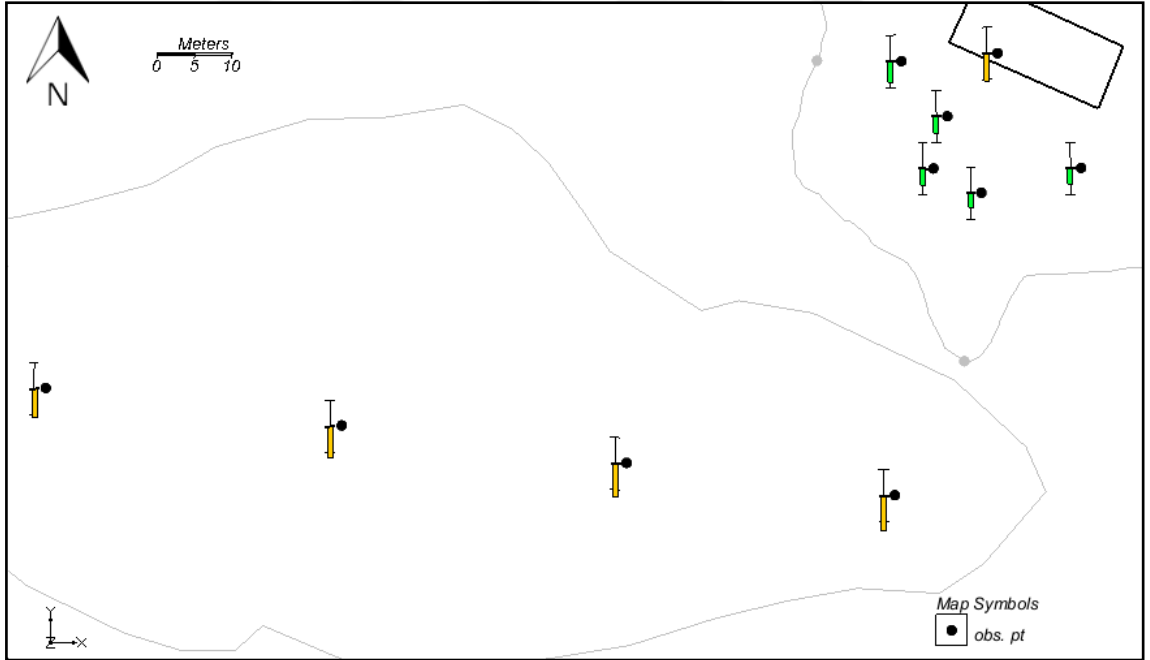
Simülasyonun bataklık üzerinden geçen i sıralarından biri seçilmiş (59.) ve Şekil 6.11'de Ön Bakış (Front View) kullanılarak verilmiştir. Görüntünün daha net gösterilebilmesi adına düşey büyütme katsayısı 5 olarak kullanılmıştır.



Şekil 6.11. Bataklık alanından ($i=59$) geçen yatay kesit görünümü, dikey büyütme katsayısı: 5.

Güncel durum için üretilen yeraltısuyu benzeşiminde, sisteme giren toplam su miktarı; $3625.394 \text{ m}^3/\text{gün}$ olarak hesaplanmıştır. Sistemden çıkan toplam su miktarı $3625.479 \text{ m}^3/\text{gün}$ olarak hesaplanmıştır. Günlük giren – çıkan su miktarı $-84.812 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{gün}$ olarak hesaplanmıştır ve aradaki fark yüzde olarak ifade edildiğinde sistemden kayıp $\% 2.339 \times 10^{-3}$ olmaktadır.

Şekil 6.12’de arazi çalışmalarında gözlemi yapılan yeraltısuyu seviyelerinin, modelce hesaplanan seviyelerle olan uyumu görüntülenmiştir. Şekil 6.13’de ise, değerlerin tablosu eklenmiştir.

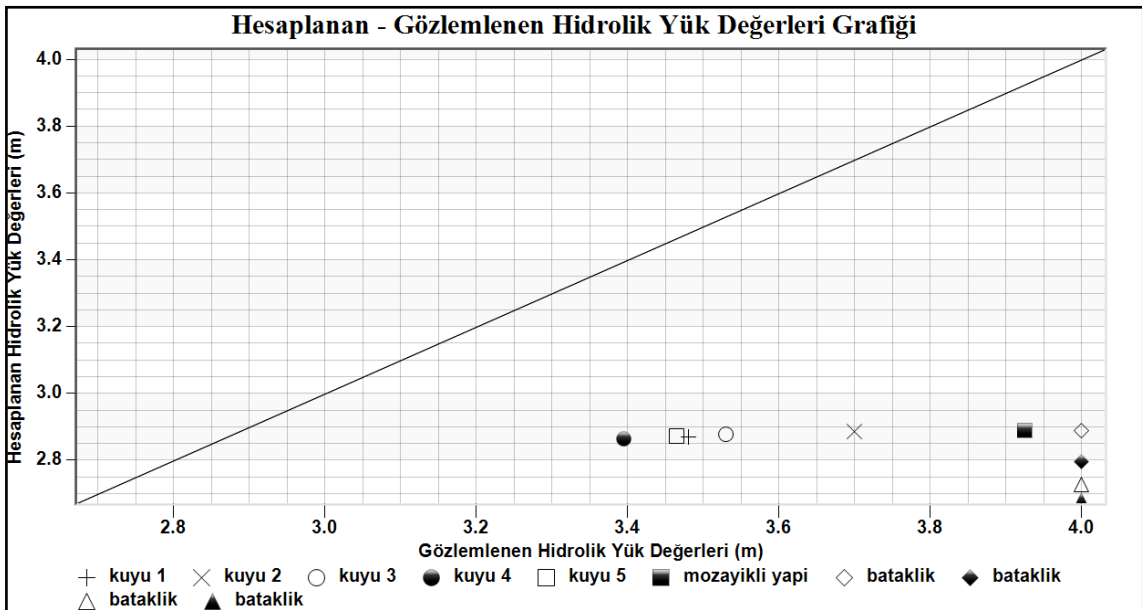


Şekil 6.12. Model hesaplamalarının gözlem verileri ile olan uyumu.

ID	Name	Type	Obs. Head	Obs. Head interval	Obs. Head conf(%)	Obs. Head std. dev	Computed Head	Residual Head
All								
1	kuyu 1	obs. pt	3.48	1.0	95	0.51021	2.868463	0.611537
2	kuyu 2	obs. pt	3.7	1.0	95	0.51021	2.886959	0.813041
3	kuyu 3	obs. pt	3.53	1.0	95	0.51021	2.877396	0.652604
4	kuyu 4	obs. pt	3.395	1.0	95	0.51021	2.864478	0.530522
5	kuyu 5	obs. pt	3.465	1.0	95	0.51021	2.8711	0.5939
6	mozayikli yapı	obs. pt	3.925	1.0	95	0.51021	2.887295	1.037705
7	bataklık	obs. pt	4.0	1.0	95	0.51021	2.888922	1.111078
8	bataklık	obs. pt	4.0	1.0	95	0.51021	2.795377	1.204623
9	bataklık	obs. pt	4.0	1.0	95	0.51021	2.725993	1.274007
10	bataklık	obs. pt	4.0	1.0	95	0.51021	2.681537	1.318463

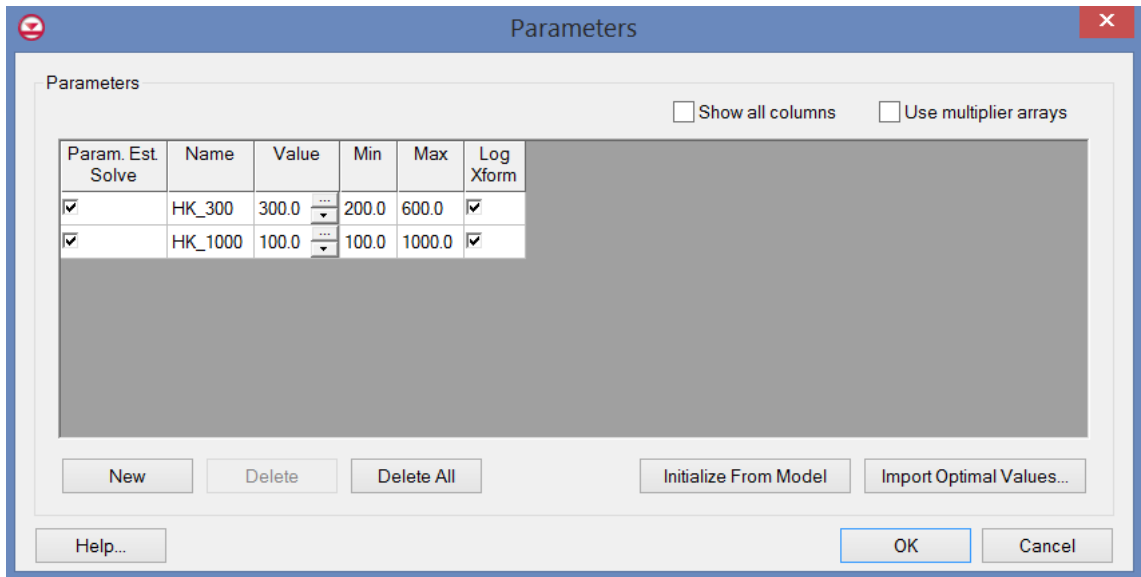
Şekil 6.13. Hesaplanan hidrolik yük değerlerinin gözlemlenen hidrolik yük değerleri ile uygunluk durumunu gösteren tablo.

Açılan gözlem kuyularında hesaplanmış olan hidrolik yük değerleri verilen ± 1 değer aralığı içerisinde, ancak; Mozaikli Yapı ve bataklık bölgelerindeki hidrolik yük hesaplamaları verilen ± 1 değer aralığı içerisinde değildir (Şekil 6.12 ve Şekil 6.13). Verilen değer aralığı içerisinde olmayan hesaplamalar uygun sayılamayacaktır. Bu durum gerçek arazinin yeterince doğru modellenemediği anlamına gelmektedir. Şekil 6.14’de hesaplanan ve gözlemlenen hidrolik yük değerlerini karşılaştıran grafik verilmiştir.



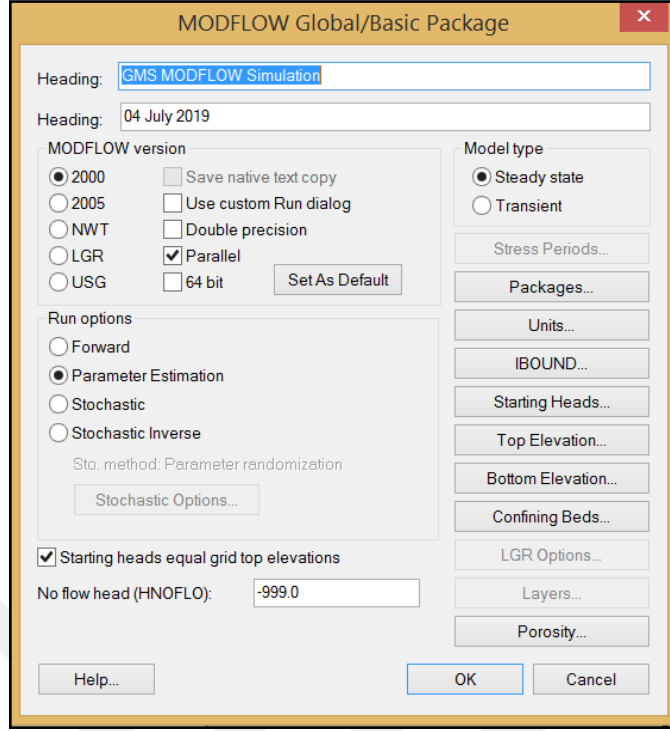
Şekil 6.14. Hesaplanan – Gözlemlenen hidrolik yük değerleri grafiği.

Kalibrasyon işlemi için PEST analizi yapılması gerekmektedir. PEST analizinde, kavramsal model oluşturulurken girilmiş olan tüm verilerin kullanılmasının yanı sıra, model tarafından hesaplanması istenilen iki bölgenin hidrolik iletkenlik değerleri için parametre ataması ve MODFLOW'a tanıtılması işlemi yapılmıştır (Şekil 6.15). Parametre diyalog penceresinde, PEST analizi tarafından hesaplanması istenilen değerlerin, olması gereken değer aralıkları ve analize başlanması istenen değerler, analizden önce girilmelidir. Bu değerlerin seçimi de modelin hesaplanmasında büyük önem taşımaktadır.



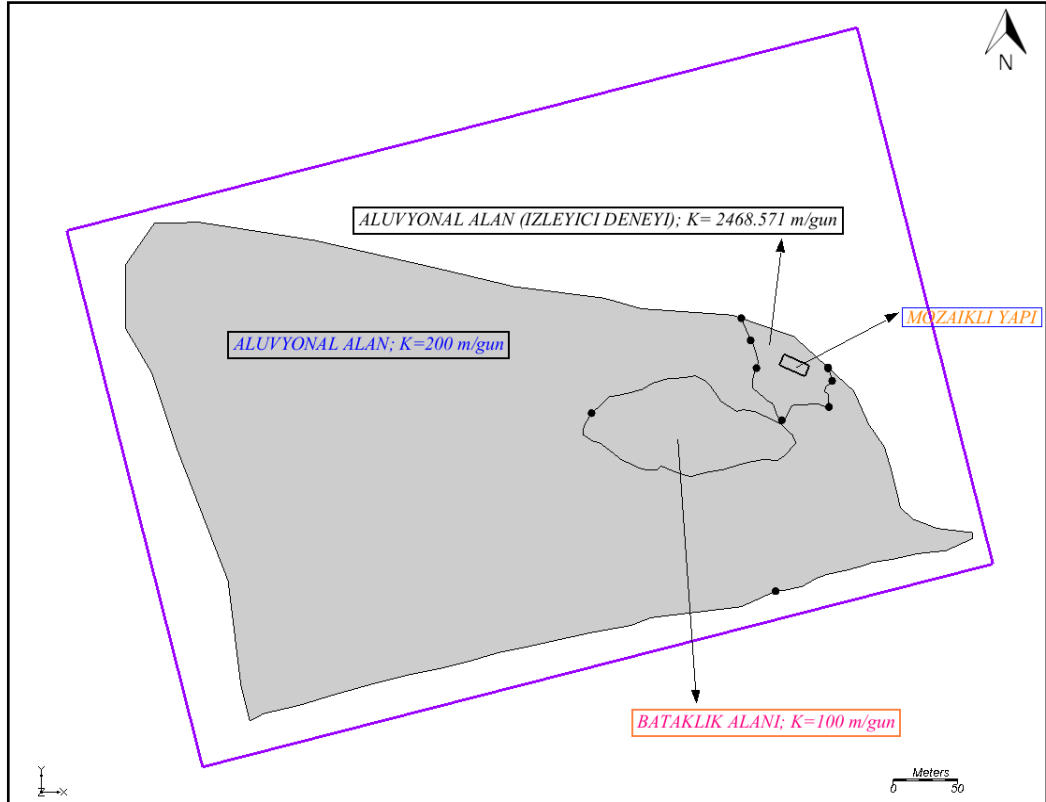
Şekil 6.15. MODFLOW Parameters diyalog penceresi.

İlk benzeşim üretilmeden önce, 300 m/gün olarak hidrolik iletkenlik değeri girilen bölge için bu değerin 200-600 m/gün aralığında olduğu belirtilmiştir ve analize 300 m/gün değerine yakın değerlerden başlanması istenmiştir. Diğer yandan hidrolik iletkenlik değeri 1000 m/gün olarak girilen bataklık alanı için bu değerin 100-1000 m/gün aralığında olduğu ve analize 100 m/gün değerine yakın değerlerle başlanması istendiği bilgisi verilmiştir (Şekil 6.15). MODFLOW'un bu kez, çalıştırma ayarları "Parameter Estimation" olarak seçilmiştir (Şekil 6.16) ve yeniden çalıştırılmıştır.

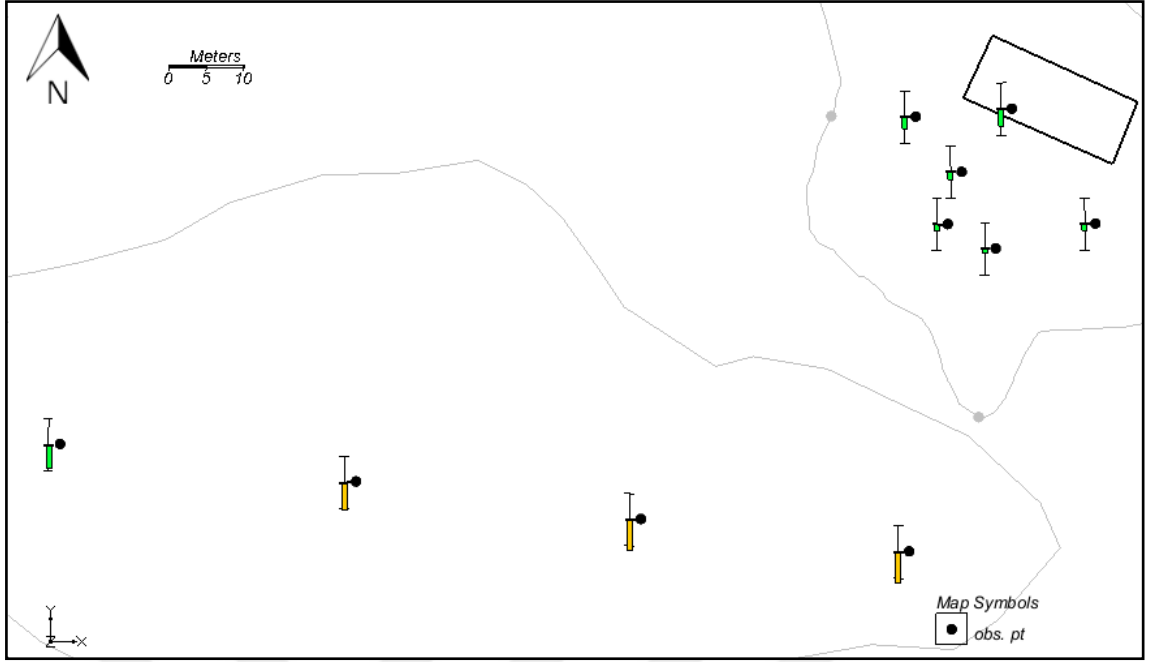


Şekil 6.16. “MODFLOW Global/Basic Package” diyalog penceresi.

MODFLOW, PEST analizi sonrasında çalıştırıldığında bölgedeki hidrolik iletkenlik değeri Şekil 6.17’de model alanı üzerinde verilmiştir.



Şekil 6.17. PEST analizi sonrasında model alanının hidroiletkenlik katsayısı değerleri.



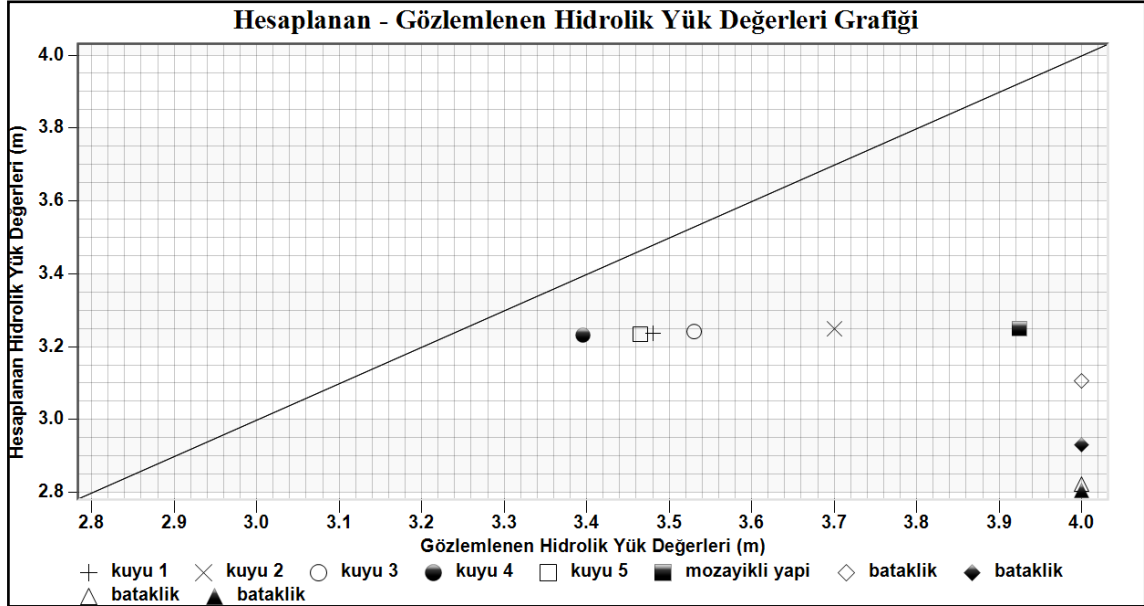
Şekil 6.19. PEST analizi ile yapılan kalibrasyon işlemi sonrasında model hesaplamalarının gözlem verileriyle olan uyumu.

ID	Name	Type	Obs. Head	Obs. Head interval	Obs. Head conf(%)	Obs. Head std. dev	Computed Head	Residual Head
All								
1	kuyu 1	obs. pt	3.48	1.0	95	0.51021	3.235271	0.244729
2	kuyu 2	obs. pt	3.7	1.0	95	0.51021	3.249211	0.450789
3	kuyu 3	obs. pt	3.53	1.0	95	0.51021	3.241399	0.288601
4	kuyu 4	obs. pt	3.395	1.0	95	0.51021	3.231235	0.163765
5	kuyu 5	obs. pt	3.465	1.0	95	0.51021	3.23311	0.23189
6	mozayikli yapı	obs. pt	3.925	1.0	95	0.51021	3.247934	0.677066
7	bataklık	obs. pt	4.0	1.0	95	0.51021	3.105323	0.894677
8	bataklık	obs. pt	4.0	1.0	95	0.51021	2.931625	1.068375
9	bataklık	obs. pt	4.0	1.0	95	0.51021	2.822759	1.177241
10	bataklık	obs. pt	4.0	1.0	95	0.51021	2.806016	1.193984

Şekil 6.20. Kalibrasyon işlemi sonrasında hesaplanan hidrolik yük değerlerinin gözlemlenen hidrolik yük değerleri ile uygunluk durumunu gösteren tablo.

PEST analizi yapılmadan önce hesaplanan bataklık üzerindeki su seviyesi değerleri sırasıyla 2.889 m, 2.795 m, 2.726 m ve 2.682 m olarak görüntülenmişti (Şekil 6.13). Yapılan PEST analizinden sonra aynı değerlerin model tarafından hesaplanması 3.105 m, 2.932 m, 2.823 m ve 2.806 m olarak değişmiştir (Şekil 6.20). Mozaikli Yapı'da ise PEST analizi öncesinde hesaplanan hidrolik yük değeri 2.887 m iken, PEST analizi sonrasında bu değer 3.248 m olmuştur. Şekil 6.21'de PEST analizi sonrasında

hesaplanan hidrolik yük değerleri ile gözlemlenen hidrolik yük değerleri arasındaki ilişkinin grafiği verilmiştir.



Şekil 6.21. PEST analizi ile yapılan kalibrasyon sonrasında hesaplanan – gözlemlenen hidrolik yük değerleri grafiği.

PEST analizi sonrasında üretilen yeraltısuyu benzeşiminde, sisteme giren toplam su miktarı; $3068.502 \text{ m}^3/\text{gün}$ olarak, sistemden çıkan toplam su miktarı $3068.542 \text{ m}^3/\text{gün}$ olarak hesaplanmıştır. Günlük giren – çıkan su miktarı $-39.611 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{gün}$ olarak hesaplanmıştır ve aradaki fark yüzde olarak ifade edildiğinde $\% -1.291 \times 10^{-3}$ olmaktadır.

PEST analizi ile kalibrasyon sonrasında; sayısal modelleme yöntemiyle hesaplanan verilerin, gözlem verileriyle uyumlarının artmış olması sebebiyle modelin doğruluğu da arttırılmıştır. Gözlem verileri ne kadar çok olursa PEST analizi o kadar hassas ve yüksek doğrulukla çalışmaktadır.

6.2.2. Geçmiş dönem Olympos antik kent modellemeleri

Tez çalışmasının bu aşamasında geçmiş döneme ait iki farklı zaman için modelleme çalışmaları yapılmıştır. Model sınırlarının belirlenmesi için Olympos ve Çıralı'nın tahmini jeomorfolojik evrimini göstermek için hazırlanmış olan (Şekil 3.8 ve 3.9) haritalardan yararlanılmıştır. İlk çalışma günümüzden 2500 yıl öncesi (M. Ö. 500) için, ikinci çalışma ise günümüzden 2000 yıl öncesi (M. Ö. 0) için yapılmıştır.

Sabit yük sınırının tanımlanabilmesi için oluşturulan CHD paketi ile 0.0 metre olan deniz seviyesi tanımlaması yapılmıştır. Bunun için çizilen yay üzerindeki noktalara 0.0 m hidrolik yük değeri tanımlanmıştır.

Genel yük sınırı için iletkenlik katsayısı $2.0 \text{ (m}^2\text{/gün)}/\text{m}$ olarak girilmiştir. Yay üzerinde oluşturulan noktalara da, o noktalardaki hidrolik yük değerleri girilmiştir.

Model kararlı durumda çalıştırılacağı için model alanına girilecek beslenme değeri de tek olmalıdır. Bu sebeple beslenme değeri olarak, tez çalışmasında güncel döneme ait oluşturulan benzeşimdeki 414 günlük (17 Mayıs 2017 – 04 Temmuz 2018) yağışın aritmetik ortalama değeri ve bu ortalama değer $\%70$ inin süzülme yoluyla beslenime geçeceği kabulü ile 0.0012621 m/gün değeri kullanılmıştır. Günümüze ait olan bu değer günümüzden 2000 yıl öncesine ait oluşturulan tüm model alanına beslenme değeri olarak tanımlanmıştır.

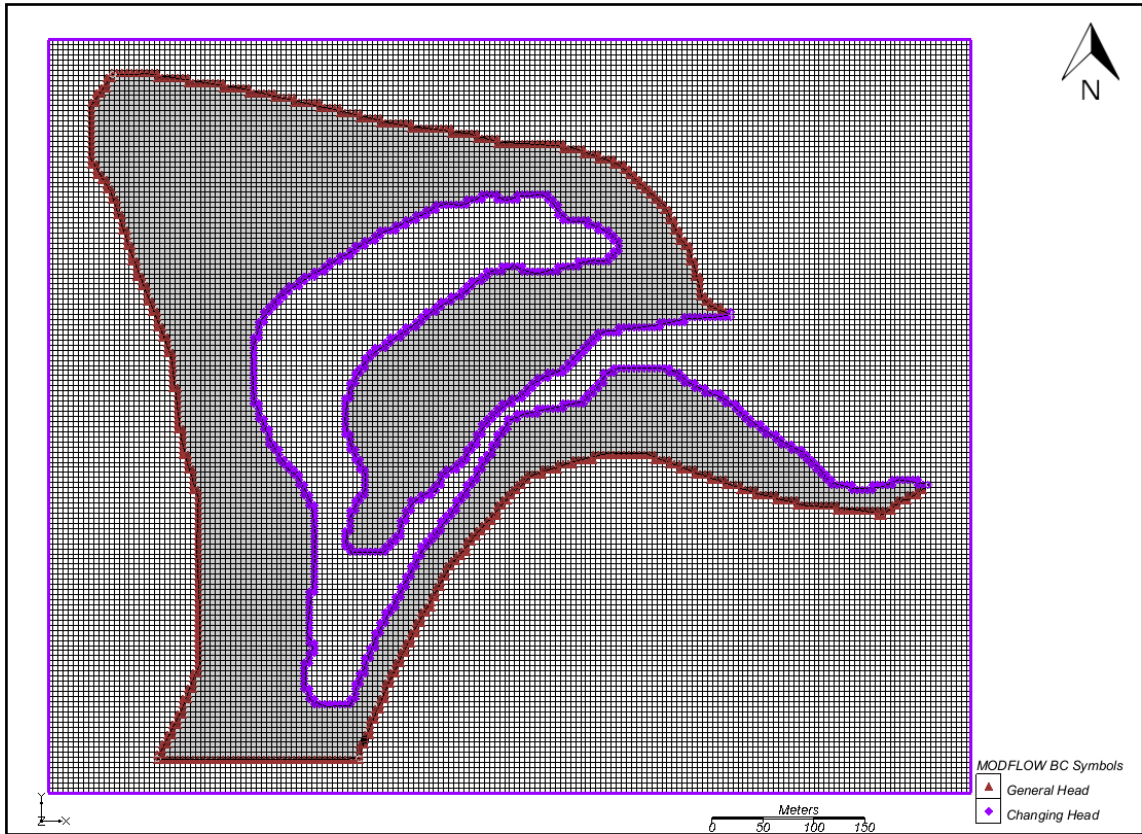
“Buharlaşma” isimli kapsamda alan içerisindeki suyun ET yoluyla kaybının tanımlanması için, “Beslenme” isimli kapsamda olduğu gibi, meteoroloji istasyonundan alınan güncel döneme ait 414 günlük (17 Mayıs 2017 – 04 Temmuz 2018) ET değerinin aritmetik ortalaması olan 0.003273 m/gün değeri kullanılmıştır. Buharlaşma bitiş değeri için 2.0 m girişi yapılmıştır. ET yüzeyi, kavramsal model tamamlandıktan hemen önce, DEM haritasından alınan topoğrafya değerlerine eşitlenmiştir.

Hidrolik iletkenlik katsayısı değeri, tüm alüvyonal alan için tek değer olarak kullanılmıştır. Bu değer, tez çalışması içerisinde PEST analizi ile elde edilmiş olan 200.0 m/gün değeri olmuştur. Hidrolik iletkenlik katsayısı değerinin modele girişi “Hidrolik İletkenlik” kapsamında yapılmıştır. Aynı kapsam içerisine, akiferin porozite, S_y ve S_s değerleri girilmiştir. Gözeneklilik için $\%10$ (0.1) değeri, S_y değeri için 0.25 ve S_s (1/m) değeri için 0.05 kabul edilmiştir.

Model alanına girilen tüm değerler tamamlandıktan sonra, kavramsal modelin grid tabanlı sayısal akım modeline dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu sebeple önce gridler oluşturulmalı, ardından modele simülasyon eklenmelidir. Grid hücrelerinin oluşturulması için, ilk önce grid çerçevesi oluşturulmuştur. Grid çerçevesinden 3D grid hücrelerinin oluşturma aşamasına geçilmektedir. Alan için oluşturulan grid hücreleri X eksenindeki uzunlukları 5 metre, Y eksenindeki uzunlukları 5 metre, Z eksenindeki hücre sayısının 1 olarak oluşturulmuştur. Model tek katmanlıdır. Aktif ve aktif olmayan hücreler dahil toplam 26936 hücre oluşmuştur. Buradan da grid çerçevesinin 0.6734 km^2 alan kapladığı hesaplanmıştır.

Proje Gezgini (Project Explorer) ekranından Grid'e sağ tıklayarak "New MODFLOW" seçeneğinin seçilmesi gerekmektedir. Açılan pencereden MODFLOW versiyon: 2000, Model türü: Kararlı durum, Çalıştırma ayarları: İleri olarak seçilir.

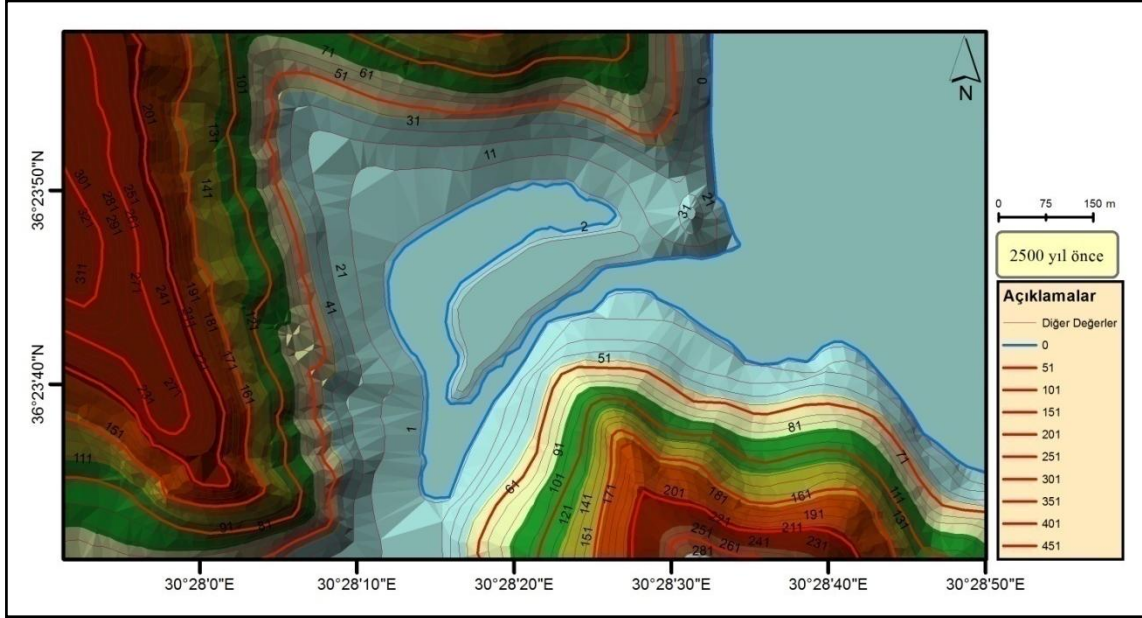
Proje gezgininde yeni MODFLOW oluşturulduktan sonra, kavramsal modelin MODFLOW'a aktarılması gerekmektedir. Bu işlem için "Feature Objects" modülü içerisinde "Map to → MODFLOW" komutunun seçimi yapılarak kavramsal modelin MODFLOW'a aktarımı sağlanmıştır (Şekil 6.23).



Şekil 6.23. Günümüzden 2500 yıl öncesi için üretilen kavramsal modelin MODFLOW'a aktarılması.

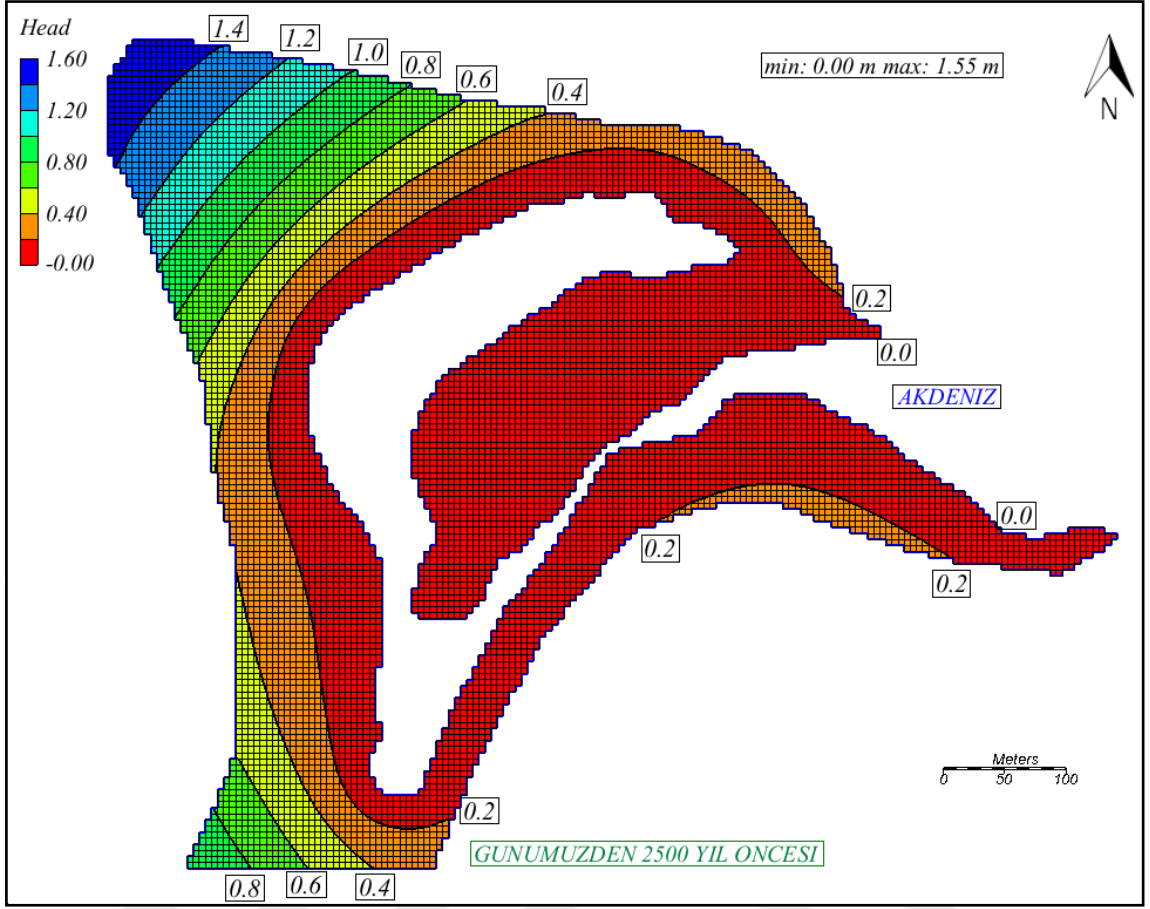
Son olarak, topoğrafya verilerinin MODFLOW katmanlarına tanımlanması gerekmektedir. Bu sebeple CBS ortamında oluşturularak GMS model programına eklenmiş olan DEM raster haritası kullanılmıştır. Güncel dönemin DEM haritasını oluşturmak için el ile çizilmiş 10ar metre aralıklı eşyükselti eğrileri 2500 yıl önceki deniz seviyesinin 1.0 metre daha düşük olması sebebiyle, 1 metre arttırılmıştır. Kıyı çizgisini temsil eden 0 değerinde yeni bir eşyükselti eğrisi çizilmiştir. Güncel topoğrafya değerlerinin 1.0 metre arttırılmasıyla, deniz seviyesinin 1.0 metre düşük olduğu ifade edilmek istenmektedir. Yeni eşyükselti eğrileri kullanılarak TIN haritası,

ardından TIN haritası kullanılarak DEM haritası oluşturulmuştur. Oluşturulan bu DEM haritası, GMS model programına *.tif uzantılı raster dosya olarak eklenmiştir. Şekil 6.24’de 2500 yıl öncesi için oluşturulan eşyüksekti eğrileri ve TIN haritası verilmiştir.



Şekil 6.24. 2500 yıl öncesi için CBS ortamında hazırlanmış TIN haritası ve değerleri yeniden atanmış olan eşyüksekti eğrileri.

Programa eklenen DEM raster haritasına sağ tıklayıp “Interpolate to → MODFLOW Layers” komutu seçilerek MODFLOW katman yüksekliğine topoğrafyanın ataması sağlanmıştır. MODFLOW modülünden “Run MODFLOW” seçimi yapılarak güncel durum için üretilen benzeşim oluşturulmuştur. Su seviyesi değerleri benzeşim üzerinde gösterilmiştir (Şekil 6.25).



Şekil 6.25. Günümüzden 2500 yıl öncesi için kararlı durumda oluşturulan yeraltısuyu benzeşimi.

Modelin çalıştırılmasıyla birlikte oluşan yeraltısuyu benzeşimindeki aktif hücre sayısı 8522, inaktif hücre sayısı (IBOUND=0) 18414 (toplam: 26936 hücre) olmuştur. Model benzeşim boyunca inaktif olan hücreler için hesaplama yapmamış olmakla birlikte, hesaplamalar sadece aktif olan 8522 hücre için yapılmıştır. Aktif olarak ifade edilen alan yaklaşık 0.213 km^2 'dir. Model tarafından hesaplanan yeraltısuyu seviyesi değer aralığı 0.0 m ile 1.550 m arasında değişmektedir. Topoğrafya üzerinde taşan su seviyesi görülmemektedir. Mozaikli Yapı'nın bulunduğu lokasyondaki hücrelerin ortalama hidrolik yük değeri 0.248 m olarak hesaplanmıştır.

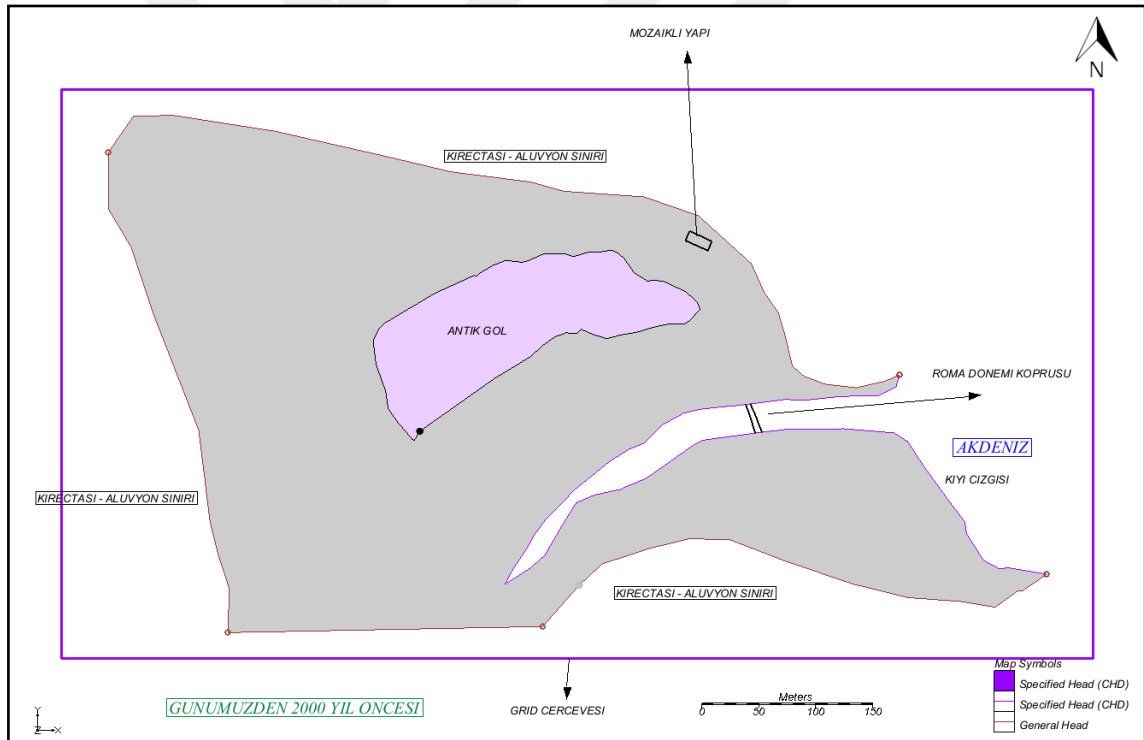
Kararlı durumda üretilen bu yeraltısuyu benzeşiminde, sisteme toplam su girişi $19267.554 \text{ m}^3/\text{gün}$ iken, sistemden toplam su çıkışı $19267.523 \text{ m}^3/\text{gün}$ 'dür. Aradaki su farkı (Giren-Çıkan) $3.049 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{gün}$ hesaplanmıştır ve bu fark yüzde ile ifade edildiğinde $\% 1.582 \times 10^{-4}$ olmaktadır.

6.2.2.2. Günümüzden 2000 yıl öncesine (M. Ö. 0) ait tahmini kent modellemesi

Model çalışmasında kullanılacak olan temel ölçü birimleri düzenlenmesi yapılmış ve projeksiyon tanımlanmıştır. Ardından kavramsal model oluşturulmuş ve içerisine eklenen kapsamlarla model geliştirilmiştir.

“Sınırlar” isimli kapsam içerisine akiferin sınırları belirlenmiştir. Bunun için Şekil 3.8 (c) ve Şekil 3.9 (c)’da verilen jeomorfolojik evrim haritalarından yararlanılmıştır.

“Kaynaklar” isimli kapsam içerisine; CHD ve GHB paketleri tanımlanmıştır. CHD paketi, sabit deniz seviyesinin ve bu zaman diliminde bulunan paleogölün tanımlanması için kullanılmıştır. GHB paketi ise alüvyon akiferine karst akiferden yanal besleniminin tanımlanması için kullanılmıştır. Şekil 6.26’da model sınırları, kaynaklar ile birlikte gösterilmiştir. Şekil üzerine Mozaikli Yapı’nın yanı sıra bu zaman döneminde var olan Roma Dönemi köprüsü de görsellik açısından eklenmiştir.



Şekil 6.26. Model sınırları ve model alanındaki kaynakların gösterimi.

Kıyı çizgisini sabit yük sınırı olarak tanımlanabilmesi için, çizilen yay önce CHD olarak seçilmiş, ardından yay üzerine oluşturulan noktalara 0.0 metre su seviyesi yükseklik değerleri atanmıştır. Antik göl olarak bilinen bölge kapalı bir alandır ve alanın tamamına CHD tanımlaması yapılarak, alan için su seviyesi değeri 1.5 metre olarak girilmiştir.

Genel yük sınırını tanımlamak için oluşturulan GHB yaylarına iletimlilik katsayısı olarak $2.0 \text{ (m}^2\text{/gün)/m}$ değerleri girilmiştir. Yay üzerinde oluşturulan noktalara da, o noktalardaki su seviyesi değerleri girilmiştir.

Model kararlı durumda oluşturulacağı için, beslenme için tek değer kullanılmalıdır. Tez çalışmasında güncel döneme ait oluşturulan yeraltısuyu benzeşimindeki 414 günlük (17 Mayıs 2017 – 04 Temmuz 2018) yağışın aritmetik ortalama değeri ve bu ortalama değer $\%70$ inin süzülme yoluyla beslenime geçeceği kabulü ile 0.0012621 m/gün değeri kullanılmıştır. Günümüze ait olan bu değer günümüzden 2000 yıl öncesine ait oluşturulan tüm model alanına beslenim değeri olarak tanımlanmıştır.

Yine model kararlı durumda oluşturulacağı için, ET için tek değer kullanılmalıdır. “Buharlaşma” isimli kapsam içerisine tüm alan için, güncel döneme ait oluşturulan yeraltısuyu benzeşimindeki 414 günlük ET’nin aritmetik ortalaması olan 0.003273 m/gün değeri kullanılmıştır. ET bitiş derinliği için 2.0 m değeri girilmiştir. ET yüzeyi, kavramsal model tamamlandıktan hemen önce, DEM haritasından alınan topoğrafya değerlerine eşitlenmiştir.

Hidrolik iletkenlik katsayısı değeri, tüm alüvyon alanı için 200.0 m/gün olarak girilmiştir. Hidrolik iletkenlik katsayısı değerinin modele girişi “Hidrolik İletkenlik” kapsamında yapılmıştır. Aynı kapsam içerisine, akiferin porozite, Sy ve Ss değerleri girilmiştir. Gözeneklilik için $\%10$ (0.1) değeri, Sy değeri için 0.25 ve Ss ($1/\text{m}$) değeri için 0.05 kabul edilmiştir.

Model alanına girilen tüm değerler tamamlandıktan sonra, kavramsal modelin grid tabanlı sayısal akım modeline dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu sebeple önce gridler oluşturulmalı, ardından modele simülasyon eklenmelidir. Grid hücrelerinin oluşturulması için, ilk önce grid çerçevesi oluşturulmuştur. Grid çerçevesinden 3D grid hücrelerinin oluşturma aşamasına geçilmektedir. Alan için oluşturulan grid hücreleri X eksenindeki uzunlukları 5 metre , Y eksenindeki uzunlukları 5 metre , Z eksenindeki hücre sayısı 1 olarak oluşturulmuştur. Model tek katmanlıdır. Aktif ve aktif olmayan hücreler dahil toplam 18200 hücre oluşmuştur. Buradan da grid çerçevesinin 0.455 km^2 alan kapladığı hesaplanmıştır.

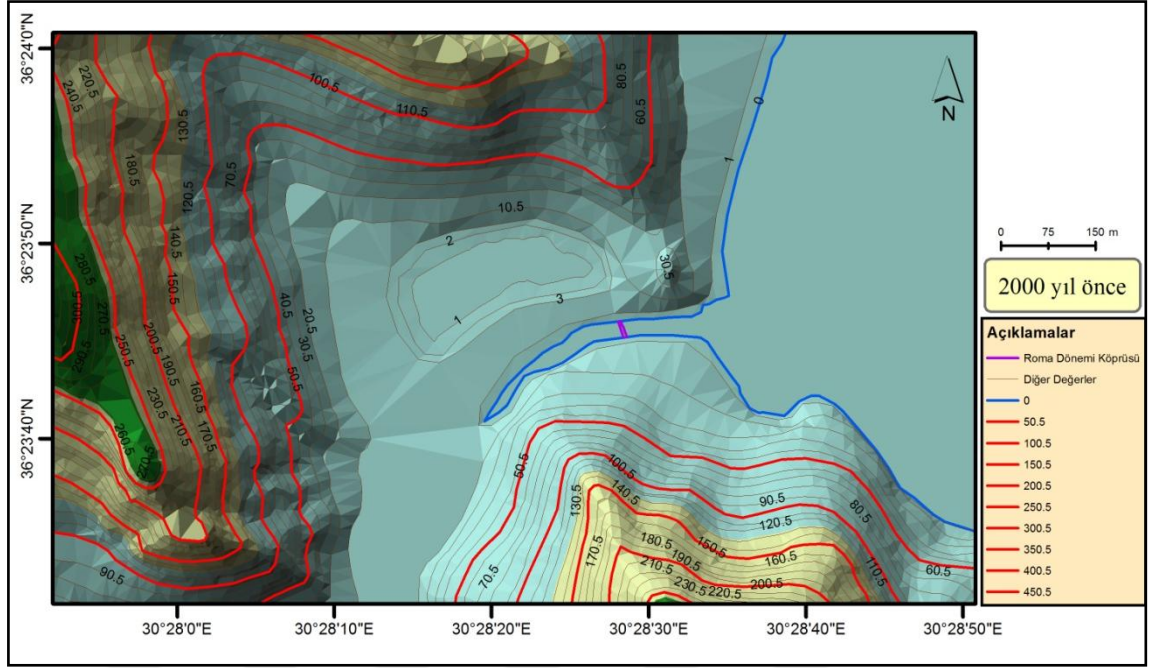
Proje Gezini (Project Explorer) ekranından Grid’e sağ tıklayarak “New MODFLOW” seçeneğinin seçilmesi gerekmektedir. Açılan pencereden MODFLOW versiyon: 2000, Model türü: Kararlı durum, Çalıştırma ayarları: İleri olarak seçilir.

Proje gezgininde yeni MODFLOW oluşturulduktan sonra, kavramsal modelin MODFLOW'a aktarılması gerekmektedir. Bu işlem için "Feature Objects" modülü içerisinde "Map to → MODFLOW" komutunun seçimi yapılarak kavramsal modelin MODFLOW'a aktarımı sağlanmıştır (Şekil 6.27).



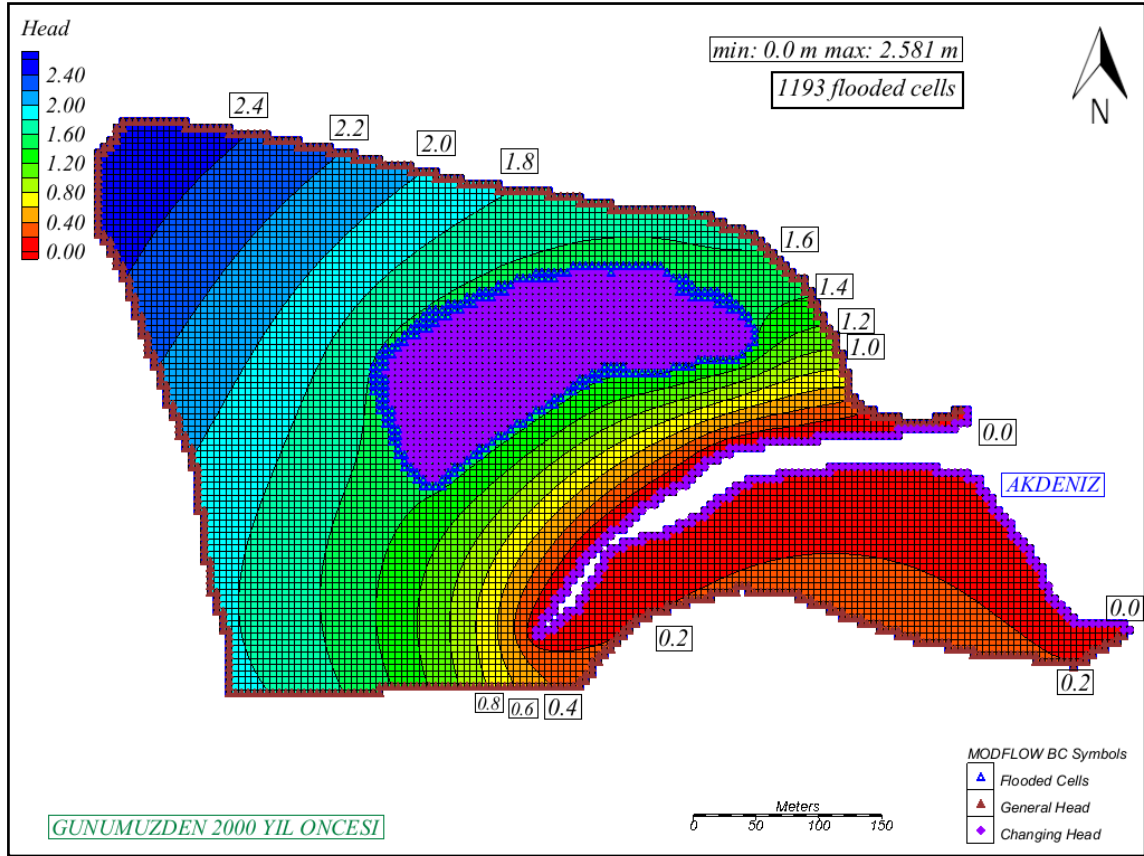
Şekil 6.27. Günümüzden 2000 yıl öncesi için üretilen kavramsal modelin MODFLOW'a aktarılması.

Son olarak, topoğrafya verilerinin MODFLOW katmanlarına tanımlanması gerekmektedir. Bu sebeple CBS ortamında oluşturularak GMS model programına eklenmiş olan DEM raster haritası kullanılmıştır. Güncel dönemin DEM haritasını oluşturmak için el ile çizilmiş 10ar metre aralıklı eşyükselti eğrileri 2000 yıl önceki deniz seviyesinin 0.5 metre daha düşük olması sebebiyle, 0.5 metre arttırılmıştır. Kıyı çizgisini temsil eden 0 değerinde yeni bir eşyükselti eğrisi çizilmiştir. Güncel topoğrafya değerlerinin 0.5 metre arttırılmasıyla, deniz seviyesinin 0.5 metre düşük olduğu ifade edilmek istenmektedir. Yeni eşyükselti eğrileri kullanılarak TIN haritası, ardından TIN haritası kullanılarak DEM haritası oluşturulmuştur. Oluşturulan bu DEM haritası, GMS model programına *.tif uzantılı raster dosya olarak eklenmiştir. Şekil 6.28'de 2000 yıl öncesi için oluşturulan eşyükselti eğrileri ve TIN haritası verilmiştir.



Şekil 6.28. 2000 yıl öncesi için CBS ortamında hazırlanmış TIN haritası ve değerleri yeniden atanmış olan eşyüksekti eğrileri.

Programa eklenen DEM raster haritasına sağ tıklanıp “Interpolate to → MODFLOW Layers” komutu seçilerek MODFLOW katman yüksekliğine topoğrafyanın ataması sağlanmıştır. MODFLOW modülünden “Run MODFLOW” seçimi yapılarak 2000 yıl öncesi için üretilen benzeşim oluşturulmuştur. Su seviyesi değerleri benzeşim üzerinde gösterilmiştir (Şekil 6.29).



Şekil 6.29. Günümüzden 2000 yıl öncesi için kararlı durumda oluşturulan yeraltısuyu benzeşimi.

Modelin çalıştırılmasıyla birlikte oluşan yeraltısuyu benzeşimindeki aktif hücre sayısı 9094, inaktif hücre sayısı 9106 olarak belirlenmiştir. Bu durumda, aktif model alanının yaklaşık 0.227 km^2 olarak hesaplanmaktadır. Model tarafından hesaplanan, bütün alan içerisindeki su seviyesi değerleri, 0.0 m ile 2.5813 m arasında değişmektedir. Göl alanının etrafında suyun topoğrafyadan dışarıya taşıdığını gösteren mavi renkli üçgenlerin atandığı (Şekil 6.29) hücreler bulunmaktadır. Göl alanı ve göl kenarındaki taşkın alanı dahil toplamda 1193 hücredeki su seviyesi, topoğrafyanın üzerinde bulunmaktadır. Bu durumda tatlısu gölünün yaklaşık alanı, 0.0298 km^2 'dir. Mozaikli Yapı'nın bulunduğu lokasyondaki hücrelerin ortalama hidrolik yük değeri 1.5493 m olarak hesaplanmıştır.

Kararlı durumda üretilen bu yeraltısuyu benzeşiminde; sisteme toplam su girişi $22425.924 \text{ m}^3/\text{gün}$ iken, sistemden çıkan suyun miktarı $22425.951 \text{ m}^3/\text{gün}$ olarak hesaplanmıştır. Giren ve çıkan arasındaki fark $-2.636 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{gün}$ olarak verilmektedir ve yüzde olarak ifade edildiğinde, bu fark $\% -11.756 \times 10^{-5}$ olmaktadır.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tez çalışmasında ilk olarak, Antalya ili sınırları içerisinde bulunan Olympos antik kent bölgesindeki alüvyon akiferinde, bölgedeki arkeolojik araştırmaların sürdürülebilir olması amacıyla sular altında kalan yapılar üzerinde gelecekte uygulanması planlanan drenaj yöntemleri için temel bilgilerin üretilmesi amaçlanmıştır. Daha kısa ifadeyle, Olympos antik kenti yeraltısuyu modellemelerinin yapılması amaçlanmıştır. Jeolojik, hidrojeolojik ve hidrolojik verilerin birlikte değerlendirilmesiyle kavramsal modeller oluşturulmuş, bu kavramsal modeller temelinde ilk olarak ortalama değerler kullanılarak güncel zaman için kararlı durumda sayısal akım modeli geliştirilmiş ve buna uygun olarak yeraltısuyu benzeşimi yapılmıştır. Güncel dönem için üretilen kararlı durum benzeşiminden sonra PEST analizi ile kalibrasyon ve doğrulama işlemi aşaması gelmektedir. Bu aşamada; bölgede hidrolik iletkenlik değeri ölçülememiş olan alanlar için PEST analizi yapılarak, analiz sırasında verilen değer aralıkları içerisinde iki bölge için yeni hidrolik iletkenlik değerleri tespit edilmiştir.

PEST analizi kararlı ve kararsız durumların her birinde de üretilebileceği gibi, ileri yönlü değil sonuca odaklı geri yönlü bir analizdir. Ters model olarak da ifade edilebilmektedir ve parametre tahmin sürecini otomatikleştiren bir yardımcı programdır. Kavramsal model içerisine verilen gözlem değerlerine yakın bir sonuç üretebilmek amacıyla geriye dönük yönlü çalışarak ve kalibrasyon hatasını en aza indirerek parametre tahmini yapan bir analiz yöntemidir. Hesaplanan ve gözlemlenen değerler arasındaki farkı minimize edinceye kadar, kullanıcı tanımlı giriş parametrelerini sistematik olarak ayarlar. Tez çalışmasında güncel dönem modellemesinde kullanılan PEST analizi ile 2 adet bölgenin hidrolik iletkenlik katsayısı değeri bulunmak istenmiştir. Hem gözlem değerlerinin az olması, hem de tahmini istenen parametre bölgelerinin az olması sebebiyle, ters model çok fazla iterasyon sağlayamamış ve bu sebeple kalibrasyon hatası azalmış ancak büyük oranda değişmemiştir. Çok daha hassas değerlerin elde edilmesi için, kavramsal model oluşturulurken bölgenin daha fazla sayıda parametre bölgesine ayrılması ve araziden elde edilmiş gözlemsel yeraltısuyu seviyesi değerlerinin görece arttırılmış olması gerekmektedir.

PEST analizinden önce güncel dönem için üretilen kararlı durum modellemesinde, tüm model alanı içerisindeki su seviyesi dağılımının 1.0405 m ile 4.1116 m arasında değiştiği görülmüştür. Mozaikli Yapı'nın bulunduğu lokasyondaki hücreler incelenmiş, bu bölgedeki hidrolik yük değerleri ortalamasının 2.8887 m olduğu hesaplanmıştır.

PEST analizinden sonra üretilen kararlı durum modellemesinde, tüm model alanı içerisindeki su seviyesi dağılımının 1.0405 m ile 4.2598 m arasında değiştiği görülmüştür. Mozaikli Yapı'nın bulunduğu lokasyondaki hücreler incelenmiş, bu bölgedeki hidrolik yük değerleri ortalamasının 3.2484 m olduğu hesaplanmıştır. PEST analizi sonrasında üretilen yeraltısuyu benzeşiminde hidrolik yük değerlerinin, ilk benzeşimdeki hidrolik yük değerlerine göre artmış olması; kalibrasyon sonucu görece daha düşük hidrolik iletkenlik değerlerin kullanılmış olmasına bağlı olarak akiferdeki suyun iletimliliğinin azalmış olmasından kaynaklanmıştır.

Güncel zamana ait kararlı durum modellemeleri tamamlandıktan sonra bölgenin jeomorfolojik evriminin tahmini ile geçmişteki jeolojik, hidrojeolojik durumun aydınlatılması ve geçmişle günümüz arasındaki su seviyesi değişiminin ortaya konulması amacıyla; geçmiş için sınır koşulları oluşturularak yeni sayısal akım modelleri geliştirilmiştir. Bu aşamada, geçmişteki deniz seviyesinin daha düşük olması ve alüvyonların koy oluşturacak kadar birikmemiş olması sonucu, deniz seviyesi düşüklüğüne rağmen kıyı çizgisinin daha geride olması gibi durumların hepsi göz önüne alınmış, aynı bölge için günümüzden 2000 (M.Ö. 0) ve 2500 yıl öncesi (M. Ö. 500) adına iki geçmiş dönem modellemesi yapılmıştır.

Günümüzden 2500 yıl öncesi için (M. Ö. 500) oluşturulan akım modeli sonucu ortaya çıkan yeraltısuyu benzeşiminde, toplam model alanı içerisindeki su seviyesi yük dağılımı 0.0 m ile 1.5500 m arasında görülmüştür. Aynı model sınırları içerisindeki Mozaikli Yapı lokasyonunu içeren hücrelerin su yükü ortalamaları alınmış ve bu değer 0.2484 m olarak görülmüştür.

Günümüzden 2000 yıl öncesi (M.Ö. 0) için üretilen akım modeli sonucu ortaya çıkan yeraltısuyu benzeşiminde, toplam model alanı içerisindeki su seviyesi yük dağılımı 0.0 m ile 2.5813 m arasında görülmüştür. Mozaikli Yapı lokasyonunu içeren hücrelerin su yükü ortalaması alınmış ve bu değer 1.5493 m olarak görülmüştür.

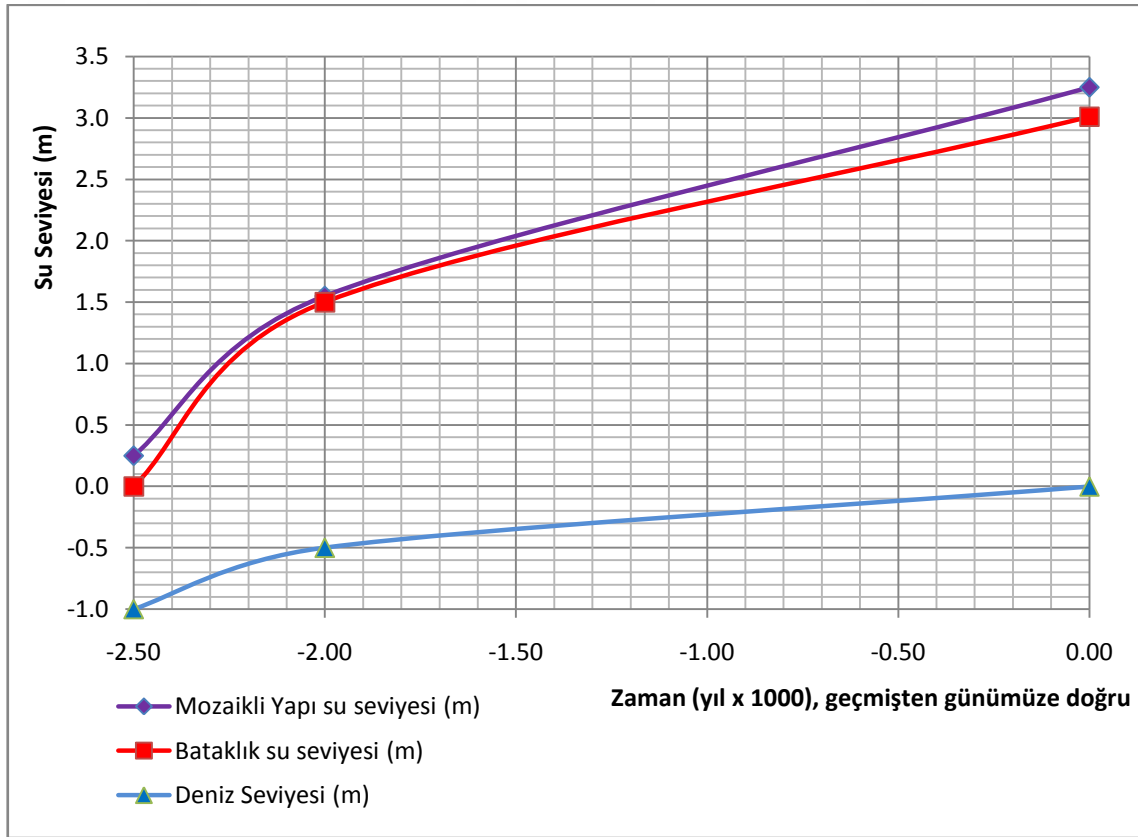
Mozaikli Yapı su seviyesi için PEST analizi sonrası elde edilen ortalama hidrolik yük değeri kullanılmıştır. Bataklık değerini temsilen, yine PEST analizi sonrasında elde edilen benzeşim kullanılmıştır. Benzeşim üzerinden tek bir grid hücresi seçilmiş (ijk; 53,87,1) ve bu hücrenin değeri olan 3.0104 m su seviyesi, bataklık için kullanılmıştır. Yapılan tez çalışması içerisinde; geçmişten günümüze doğru alüvyonların birikerek gözenekli ortamın artması ve kıyı çizgisinin geriye doğru çekilmesi sebebiyle bölgedeki

yeraltısuyu seviyesinin yükselmesi beklenmektedir. Yapılan geçmiş dönem ve güncel dönem modellemeleri ile beklenen sonuç alınmıştır.

Tablo 7.1’de Mozaikli Yapı ve bataklık alanının geçmiş ve güncel dönem değerleri verilmiştir. Aynı tablonun grafik gösterimi Şekil 7.1’de verilmiştir.

Tablo 7.1. Geçmişten günümüze Mozaikli Yapı ve bataklık alanı su seviyesi değerleri

	Mozaikli Yapı su seviyesi (m)	Bataklık su seviyesi (m)
2500 yıl önce	0.2484	0.0000
2000 yıl önce	1.5493	1.5000
Günümüz	3.2484	3.0104



Şekil 7.1. Geçmişten günümüze Mozaikli Yapı ve bataklık alanı hidrolik yük değişim grafiği

Şekil 7.1’de Tablo 7.1’deki değerler kullanılarak geçmişten günümüze Mozaikli Yapı, bataklık bölgesinde ve yeraltısuyunun değişiminin yanı sıra deniz seviyesinin değişim grafiği verilmiştir. Bataklık bölgesinin 2500 yıl önce deniz olduğu düşünülerek deniz seviyesi (0.0 m), 2000 yıl önce tatlısu gölü olduğu düşünülerek göl seviyesi (1.5 m) verilmiştir. Deniz seviyesi son 2500 yılda yaklaşık 1 metre dolaylarında yükselirken, yeraltısuyu seviyesi aynı süre içerisinde yaklaşık 3 metre kadar yükselim göstermiştir.

Çökelim dizilerinin Olympos bölgesindeki deniz çekilmesi istifini incelendiğinde, ortamın deniz çekilmesi döneminde olduğu gözlenmektedir. Verilen istif özelliklerine göre Çıralı Koyu'nun da deniz çekilmesine bağlı olarak dolduğu söylenebilir. Bölgede yapılacak ileriki çalışmalarda, istif özelliklerinin daha detaylı çalışılması önerilmektedir.

Türkiye Ege ve Akdeniz kıyılarında yaşanan jeodinamik süreçler genellikle kıyı kentlere kurulmuş antik yerleşim bölgelerinin sular altında kalmasına neden olmaktadır. Bölgelerde biriken sedimanlar, yeraltısuyunun yükselmesine ve yapılacak ya da yapılmakta olan arkeolojik çalışmaların zorlanmasına sebep olmaktadır. Olympos antik kentinde yapılması istenen susuzlaştırma çalışmaları için bölgenin kavramsal olarak tanımlanması ve yeraltısuyu akımının kararsız (transient) akım koşullarında çözülmesi önerilmektedir.

KAYNAKÇA

- Aksoy, R. ve Aksarı, S. (2008). Elmalı (Antalya, Batı Toroslar) Kuzeyinde Likya Naplarının Jeolojisi. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 23 (2), 45-59.
- Aksu, A. E., Hall, J. ve Yaltırak, C. (2005). Miocene to Recent tectonic evolution of the eastern Mediterranean: New pieces of the old Mediterranean puzzle. *Marine Geology*, 1 (221), 1-13.
- Allen, R. G., Jensen, M. E., Wright, J. L. ve Burman, R. D. (1989). Operational estimates of reference evapotranspiration. *Agronomy journal*, 81 (4), 650-662.
- Andersen, K. K., Azuma, N., Barnola, J.-M., Bigler, M., Biscaye, P., Caillon, N., Chappellaz, J., Clausen, H. B., Dörthe, D.-J., Hubertus, F., Flückiger, J., Fritzsche, D., Fujii, Y., Goto-Azuma, K., Grønvold, K., Gundestrup, N. S., Hansson, M., Huber, C., Hvidberg, C. S., Johnsen, S. J., Jonsell, U., Jouzel, J., Kipfstuhl, S., Landais, A., Leuenberger, M., Lorrain, R., Masson-Delmotte, V., Miller, H., Siggard-Andersen, M.-L., Steffensen, J. P., Stocker, T., Sveinbjörnsdottir, A. E., Svensson, A., Takata, M., Tison, J.-L., Thorsteinsson, T., Watanabe, O., Wilhelms, F. ve White, J. W. C. (2004). High-resolution record of Northern Hemisphere climate extending into the last interglacial period. *Nature*, 431 (7005), 147.
- Atila, A. Ö. ve Arıkan, A. (2001). Antalya Traverten Platosu Yeraltısularının Kümeleme ve Faktör Analizi ile Sınıflandırılması. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 25 (1), 41-53.
- Avcı, P. (2015). *Demre Kıyı Akiferinde (Antalya) Sürdürülebilir Yeraltısuyu Kullanımının Sayısal Akım Modellemesi ile İncelenmesi*. Yayımlanmamış Doktora Tezi. Ankara: Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Avşarcan, B. (1997). Yalıtışı Oluşumuyla İlgili Kuramlar ve Türkiye Kıyılarındaki Yalıtışlarının Bazı Özellikleri. *Coğrafya Dergisi* (5), 260-282.
- Bean, G. E. (1997). *Eskiçağda Lykia Bölgesi* (Çev: H. Kökten) (1. baskı) İstanbul: Arion Yayınevi.
- Bekaroğlu, E. (2008). Doğu Akdeniz’de Geç Holosen’de yükselmiş kıyı çizgileri üzerine bir değerlendirme. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 6 (1), 1-21.

- Blumenthal, M. (1963). Le Systeme structural du Taurus Sud-Anadolian. *Livre à la Mémoire du Professeur P. Fallot* içinde (s. 611-622). Paris: Soc Geol. de Prance.
- Brunn, J. H., Dumont, J. F., De Graciansky, P. C., Gutnic, M., Juteau, T., Marcoux, J., Monod, O. ve Poisson, A. (1971). Outline of the geology of the western Taurids. A. S. Campell (Ed.), *Geology and history of Turkey* içinde (s. 225-255). Libya: Petroleum Exploration Society.
- Brückner, H., Kelterbaum, D., Marunchak, O., Porotov, A. ve Vött, A. (2010). The Holocene sea level story since 7500 BP–Lessons from the Eastern Mediterranean, the Black and the Azov Seas. *Quaternary International*, 225 (2), 160-179.
- Çakır, B., Bayarı, C. S., Tezcan, L. ve Özyurt, N. N. (1999). Klorofluorokarbonlar ile yeraltısuyu yaşının belirlenmesi: 3-Beydağları (Finike) karstik akiferi kaynaklarında uygulama. *Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Ugulama ve Araştırma Merkezi*, 21, 91-103.
- Çiner, A., Desruelles, S., Fouache, E., Koşun, E. ve Dalongeville, R. (2009). Türkiye'nin Akdeniz Sahillerindeki yalıtaşlarının Holosen deniz düzeyi oynamaları ve tektonizma açısından önemi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 52 (3), 257-296.
- Çiner, A. ve Sarıkaya, M. A. (2013). Buzullar ve İklim Değişikliği: Geçmiş, Günümüz ve Gelecek. V. Ş. Ediger (Ed.), *Türkiye'de İklim Değişikliği ve Sürdürülebilir Enerji* içinde (s. 19-59). İstanbul: ENiVA-Enerji ve İklim Değişikliği Vakfı.
- Dutton, A. ve Lambeck, K. (2012). Ice volume and sea level during the last interglacial. *Science*, 337 (6091), 216-219.
- Ersoy, Ş. (1990). Batı Toros (Likya) Naplarının Yapısal Öğelerinin ve Evriminin Analizi. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 37, 5-16.
- Faccenna, C., Bellier, O., Martinod, J., Piromallo, C. ve Regard, V. (2006). Slab detachment beneath eastern Anatolia: A possible cause for the formation of the North Anatolian fault. *Earth and Planetary Science Letters*, 242 (1-2), 85-97.
- Fairbridge, R. W. (1961). Eustatic changes in sea level. *Physics and Chemistry of the Earth*, 4, 99-185.

- Gürboğa, Ş. ve Aktürk, Ö. (2018). Elmalı Havzası (Antalya) ve yakın çevresinin neotoktonik ve morfometrik özellikleri. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 156, 43-68.
- Hunt, D. ve Tucker, M. E. (1992). Stranded parasequences and the forced regressive wedge systems tract: deposition during base-level fall. *Sedimentary Geology*, 81 (1-2), 1-9.
- İde, A. (2011). *Kekova Koyunun Yüksek Ayrımlı Denizel Akustik Yöntemlerle Jeoarkeolojik Araştırması*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- İnan, N. (1985). Antalya Travertenlerinin Oluşumu ve Özellikleri. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 31-37.
- Işık, V. (2018). JEM 404 Türkiye Jeolojisi Ders Notları. *Torosların Jeolojisi*. http://80.251.40.59/ankara.edu.tr/v.isik/Toroslar_Jeoloji.pdf (Erişim tarihi: 15.02.2019).
- Jackson, J. (1994). Active Tectonics of the Aegean Region. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 22 (1), 239-271.
- Kayan, İ. (1991). Holocene geomorphic evolution of the Beşik plain and changing environment of ancient man. *Studia Troica*, 1, 79-92.
- Kayan, İ. (1995). The Troia Bay and Supposed Harbour Sites in the Bronze Age. *Studia Troica. Band 5* içinde (s. 211-235). Mainz Am Rhein: Philipp von Zabern.
- Kayan, İ. (1996). Holocene coastal development and archaeology in Turkey. *Zeitschrift Fur Geomorphologie Supplementband*, 37-59.
- Kayan, İ. (1997). Bronze Age Regression and Change of Sedimentation on the Aegean Coastal Plains of Anatolia (Turkey). H. N. Dalfes, G. Kukla ve H. Weiss (Editörler), *Third Millennium BC Climate Change and Old World Collapse* içinde (s. 431-450). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Kayan, İ. (1999). Holocene stratigraphy and geomorphological evolution of the Aegean coastal plains of Anatolia. *Quaternary Science Reviews*, 18 (4), 541-548.
- Kayan, İ. (2012). Kuvaterner'de deniz seviyesi değişimleri. N. Kazancı ve A. Gürbüz (Editörler), *Kuvaterner Bilimi* içinde (s. 570). Ankara: Ankara Üniversitesi Yayınları No: 350.

- Kellettat, D. ve Kayan, İ. (1983). Alanya batısındaki kıyılarda ilk C14 tarihlendirmelerinin ışığında Geç Holosen tektonik hareketleri. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 26, 83-87.
- Kendall, C. G. S. C. ve Lerche, I. (1988). The Rise And Fall of Eustasy. *The Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication*, 42, 3-17.
- Lambeck, K., Esat, T. M. ve Potter, E.-K. (2002). Links between climate and sea levels for the past three million years. *Nature*, 419 (6903), 199.
- Lambeck, K. ve Purcell, A. (2005). Sea-level change in the Mediterranean Sea since the LGM: model predictions for tectonically stable areas. *Quaternary Science Reviews*, 24 (18-19), 1969-1988.
- Langevin, C. D., Hughes, J. D., Banta, E. R., Niswonger, R. G., Panday, S. ve Provost, A. M. (2017). *Documentation for the MODFLOW 6 Groundwater Flow Model* (6-A55). Reston, Virginia: USGS.
<http://pubs.er.usgs.gov/publication/tm6A55>.
- Leake, S. A. (1997). *Modeling Ground-Water Flow with MODFLOW and Related Programs* (121-97). Denver: USGS.
<http://pubs.er.usgs.gov/publication/fs12197>. (Erişim tarihi: 04.01.2019)
- Lefevre, R. (1967). Un nouvel élément de la géologie du Taurus Lycien: les nappes d'Antalya (Turquie). *Comptes Rendus de l'Academie des Sciences, Paris*, 7 (D 265), 1365-1368.
- Lowe, J. ve Walker, M. (2015). *Reconstructing Quaternary Environments* (3. baskı). London: Routledge.
- Mart, Y., Ryan, W. B. F. ve Lunina, O. V. (2005). Review of the tectonics of the Levant Rift system: the structural significance of oblique continental breakup. *Tectonophysics*, 395 (3-4), 209-232.
- McClusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, S., Georgiev, I., Gurkan, O., Hamburger, M., Hurst, K., Kahle, H., Kastens, K., Kekelidze, G., King, R., Kotzev, V., Lenk, O., Mahmoud, S., Mishin, A., Nadariya, M., Ouzounis, A., Paradissis, D., Peter, Y., Prilepin, M., Reilinger, R., Sanli, I., Seeger, H., Tealeb, A., Toksöz, M. N. ve Veis, G. (2000). Global Positioning System constraints on

- plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 105 (B3), 5695-5719.
- McDonald, M. G. ve Harbaugh, A. W. (1984). *A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model* (83-875). Reston, Virginia: USGS <http://pubs.er.usgs.gov/publication/ofr83875>.
- McDonald, M. G. ve Harbaugh, A. W. (1988). *A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model* (6-A1). Reston, Virginia: USGS. <https://pubs.er.usgs.gov/publication/twri06A1>
- Mecham, B. Q. (1996). Scheduling turfgrass irrigation by various ET equations. *Evapotranspiration And Scheduling: Proceedings of the Irrigation International Conference*, San Antonio, Texas: American Society of Agricultural Engineers, 3-6 Kasım 1996, s. 245-249. C. R. Camp, E.J. Sadler, R. E. Yoder (Editörler).
- Olcaý Uçkan, B. Y. ve Evcim, S. (2015). Arkeolojik Alanlarda Laser Ölçümle Belgeleme ve Kent Modeli Oluşturma Üzerine Bir Örnek: Olympos Antik Kenti. *Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi*, Yıl: 3 (16), 1-15.
- Olcaý Uçkan, B. Y., Mergen, Y. ve Uğurlu, E. (2006). Olympos Antik Kenti 2005 Yılı Yüzey Arastırması. *24. Araştırma Sonucu Toplantısı 2. Cilt*, Ankara: Kültür ve Turizm Bakanlığı Dösim Basımevi, 29 Mayıs – 2 Haziran 2006. s. 123-134.
- Öner, E. (2008). Asi Delta Ovasında Alüvyal Jeomorfoloji Ve Paleocoğrafya Araştırmaları (Antakya/Hatay). *Ege Coğrafya Dergisi*, 17 (1-2), 1-25.
- Öner, E. (2009). *Güneybatı Anadolu'nun Kıyı Jeomorfolojisi (Teke Yarımadası Kıyı Bölümü)*. Yayınlanmamış Proje Kesin Sonuç Raporu TÜBİTAK - ÇAYDAG Proje No: 199Y078. Güneybatı Anadolu'nun Kıyı Jeomorfolojisi (Teke Yarımadası Kıyı Bölümü). İzmir.
- Öner, E. (2016). Ege Ve Akdeniz Kıyılarımızda Paleocoğrafya-Jeoarkeoloji Araştırmaları. *Ege Coğrafya Dergisi*, 25 (1), 51-66.
- Öner, E. ve Akbulut, H. (2015). Paleocoğrafik-Jeoarkeolojik Bulgular Işığında Patara Apollon Tapınağı'nın Yerinin Tartışılması: Patara Apollon Tapınağı Kısık Boğazı'nda mıydı? *Ege Coğrafya Dergisi*, 24 (2), 69-106.
- Öner, E. ve Vardar, S. (2017). Gökçeada'nın (Çanakkale) Paleocoğrafya Özellikleri ve Jeoarkeolojisi. *Journal of Awareness*, 2 (Özel Sayı), 203-220.

- Özbek, A. C. (2014). *Orta ve Doğu Toroslarda Bulunan Karbonat Yankayaçlı Pb-Zn Cevher Oluşumlarının Alterasyon Minerolojisi ve Duraylı İzotop Nitelikleri*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Özgül, N. (1971). Orta Torosların kuzey kesiminin yapısal gelişiminde blok hareketlerin önemi. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 14, 75-87.
- Özgül, N. (1976). Toroslar'ın bazı temel jeoloji özellikleri. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 19, 65-78.
- Özgül, N. ve Arpat, E. (1973). Structural units of the Taunus orogenic belt and their continuation in neighbouring regions; selection of papers on the Eastern Mediterranean region. *23rd Congress of CIESM*, Athens: Bulletin of the Geological Society of Greece, s. 156-164.
- Öztaşkın, G. K. ve Öztaşkın, M. (2009). Antalya-Olympos Mozaikli Yapı. *Uluslararası Genç Bilimciler Buluşması I: Anadolu Akdenizi Sempozyumu*, Antalya: Suna – İnan Kırac Akdeniz Medeniyetleri Araştırma Enstitüsü, s. 329-346.
- Öztürk, M. E., Akdeniz, N., Bedi, Y., Sönmez, İ., Usta, D., Kuru, K. ve Erbay, G. (1995). Alanya Napı'nın Stratigrafisine Farklı Bir Yaklaşım. *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni*, 10, 2-10.
- Peltier, W. R. (2002). On eustatic sea level history: Last Glacial Maximum to Holocene. *Quaternary Science Reviews*, 21 (1-3), 377-396.
- Peschlow Bindokat, A. (2005). *Latmos'ta Bir Karia Kenti Herakleia: Şehir ve Çevresi*. (1. baskı). (Çev: F. Özcan). İstanbul: Homer Kitabevi.
- Pirazzoli, P. A. (1986). The early Byzantine tectonic paroxysm. *Zeitschrift für Geomorphologie, NF*, 62, 31-49.
- Pirazzoli, P. A. (1996). *Sea-level Changes. The last 20.000 Years*. Chinchester, Inghilterra: John Wiley & Sons.
- Pirazzolli, P. A., Laborel, J., Saliege, J. ve Erol, O. (1993). Hatay'da Yükselmiş Holosen Kıyı Çizgileri: Paleoekolojik ve Tektonik Değerlendirmeler. (Çeviren: İlhan Kayan). *Ege Coğrafya Dergisi*, 7, 43-76.
- Pirazzoli, P. A. ve Pluet, J. (1991). *World atlas of Holocene sea-level changes*. (58). Meudon, France: Elsevier.

- Pirazzoli, P. A. (2005). A review of possible eustatic, isostatic and tectonic contributions in eight late-Holocene relative sea-level histories from the Mediterranean area. *Quaternary Science Reviews*, 24 (18-19), 1989-2001.
- Robertson, A. H. F., Woodcock, N. H. (1980). Strike-slip related sedimentation in the Antalya Complex, SW Turkey. P. F. Balance (Ed.), *Sedimentation in oblique-slip mobile zones* içinde (s. 127-146). New York: International Association of Sedimentologists.
- Robertson, A. H. F. ve Woodcock, N. H. (1981). Alakır çay Group, Antalya Complex, SW Turkey: A deformed Mesozoic carbonate margin. *Sedimentary Geology*, 30 (1-2), 95-131.
- Saltzman, B. (2002). *Dynamical Paleoclimatology: Generalized Theory of Global Climate Change*. New York: Academic Press.
- Softa, M. ve Karaman, E. (2011). Demre (Finike-Antalya) Dolayının Jeolojik, Tektonik Özellikleri ve Depremselliği. *Aktif Tektonik Araştırma Grubu 15. Çalıştayı*'nda sunulan bildiri. Adana: Çukurova Üniversitesi.
- Şenel, M. (1997). 1:250000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları No:3, Antalya.
- Şenel, M. (2002). 1:500000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları No:14, Konya.
- Şenel, M., Dalkılıç, H., Gedik, İ., Serdaroğlu, M., Bölükbaşı, A. S., Metin, S., Esentürk, K., Bilgin, A. Z., Uğuz, M. F., Korucu, M. ve Özgül, N. (1992). *Eğirdir-Yenişarbademli-Gebiz ve Geriş-Köprülü (Isparta-Antalya) Arasında Kalan Alanların Jeolojisi*, MTA Rap. 9390, TPAO Rap. 3132. Ankara.
- Şenel, M., Dalkılıç, H., Gedik, İ., Serdaroğlu, M., Metin, S., Esentürk, K., Bölükbaşı, A. S. ve Özgül, N. (1998). Orta Toroslar'da Güzelsu koridoru ve kuzeyinin stratigrafisi. Türkiye. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 120, 171-198.
- Şenel, M., Gedik, İ., Dalkılıç, H., Serdaroğlu, M., Bilgin, A. Z., Uğuz, M. F., Bölükbaşı, A. S., Korucu, M. ve Özgül, N. (1996). Isparta bükümü doğusunda, otokton ve allohton birimlerin stratigrafisi (Batı Toroslar). *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 118, 111-160.
- Şimşek, O., Mermer, A., Yıldız, H., Özyayın, K. A. ve Peşkircioğlu, M. (2013). Referans Toplam Buharlaşma (ETo) Normal Haritaları. 6th *Atmospheric Science Symposium*, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, 24-26 Nisan 2013.

- Todd, D. K. ve Mays, W. L. (2004). *Groundwater Hydrology* (3rd edition). United States: John Wiley & Sons.
- Uslu, M. (2014). *Kumluca (Antalya) Kuzeyinde Yer Alan Ofiyolit Topluluğunun Jeolojik Konumu ve Ekonomik Potansiyeli*. Yüksek Lisans Tezi. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Vardar, S. (2018). Sedimantolojik ve Mikropaleontolojik Verilerle Güzelhisar Çayı Kıyı Ovasının Holosen Paleocoğrafyası. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 23 (39), 131-148.
- Vardar, S. ve Öner, E. (2017). Batı Anadolu'da Yeni Santorini Tephra Bulguları ve Paleocoğrafya-Jeoarkeoloji Değerlendirmelerindeki Önemi. *Türk Coğrafya Kurumu 75. Yıl Uluslararası Sempozyumu*'nda sunulan bildiri. Ankara: Ankara Üniversitesi
- Vardar, S., Öner, E. ve İlhan, R. (2017). Bağlararası Höyüğü Çevresinde Paleocoğrafya ve Jeoarkeoloji Araştırmaları (Çeşme - İzmir). *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 60, 589-614.
- Varol, E., Tekin, K. U. ve Temel, A. (2007). Age and Geochemistry of Middle to Late Carnian Basalts From the Alakırçay Nappe (Antalya Nappes, SW Turkey): Implications for the Evolution of the Southern Branch of Neotethys. *Ofoliti*, 32 (2), 163-176.
- Waelbroeck, C., Labeyrie, L., Michel, E., Duplessy, J. C., McManus, J., Lambeck, K., Balbon, E. ve Labracherie, M. (2002). Sea-level and deep water temperature changes derived from benthic foraminifera isotopic records. *Quaternary Science Reviews*, 21 (1-3), 295-305.
- Woodcock, N. ve Robertson, A. (1977). Imbricate thrust belt tectonics and sedimentation as a guide to emplacement of part of the Antalya Complex SW Turkey. *Ege Bölgeleri Jeolojisi VI. Kollokyumu*, İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi, 19 Eylül - 4 Ekim 1977, s.661-670. E. İzdar ve E. Nakoman (Editörler).
- Yalçın, H., Bozkaya, Ö. ve Yılmaz, C. (2015). Tekirova (Antalya) Ofiyolit Napı Kayaçlarının Alterasyon Minerolojisi ve Jeokimyası. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 58 (1), 63-89.

- Yılmaz, C. (2014). *Tekirova Ofiyolit Napı'nda (Kemer-Altınyaka, GB Antalya) Serpantinleşme ile İlişkili Mineral Oluşumlarının İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Sivas: Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yılmaz, P. O. (1981). *Geology of the Antalya Complex, SW Turkey*. Yayımlanmamış Doktora Tezi. Austin, Michigan: University of Texas.
- Yokoyama, Y., Lambeck, K., De Deckker, P., Johnston, P. ve Fifield, I. K. (2000). Timing of the Last Glacial Maximum from observed sea-level minima. *Nature*, 406, 713-716.
- http-1.** <http://www.olymposkazisi.com/> (Erişim tarihi: 30.11.2018).
- http-2.** <http://www.olymposkazisi.com/index.html#bina>. (Erişim tarihi: 24.07.2019).
- http-3.** https://wwwbrr.cr.usgs.gov/projects/GW_Solute/hst/ (Erişim tarihi: 20.08.2019).
- http-4.** <https://volcanoes.usgs.gov/software/hydrotherm/> (Erişim tarihi: 20.08.2019).
- http-5.** <https://www.usgs.gov/software/groundwater-transport-process-gwt> (Erişim tarihi: 20.08.2019).
- http-6.** https://www.usgs.gov/mission-areas/water-resources/science/modflow-and-related-programs?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects (Erişim tarihi: 20.08.2019).
- http-7.** <https://www.usgs.gov/software/seawat-a-computer-program-simulation-three-dimensional-variable-density-ground-water-flow> (Erişim tarihi: 20.08.2019).
- http-8.** <https://water.usgs.gov/software/SHARP/> (Erişim tarihi: 20.08.2019).
- http-9.** <https://www.usgs.gov/software/sutra-a-model-2d-or-3d-saturated-unsaturated-variable-density-ground-water-flow-solute-or> (Erişim tarihi: 20.08.2019).
- http-10.** https://xmswiki.com/wiki/GMS:What_Is_GMS (Erişim tarihi: 15.01.2019).
- http-11.** <https://xmswiki.com/wiki/GMS:MODFLOW> (Erişim tarihi: 16.01.2019).
- http-12.** <http://gmstutorials-10.4.aquaveo.com/MODFLOW-GridApproach.pdf> (Erişim tarihi: 16.01.2019).
- http-13.** https://www.xmswiki.com/wiki/GMS:Active/Inactive_Cells (Erişim tarihi: 21.02.2019).
- http-14.** https://www.xmswiki.com/wiki/GMS:3D_Grid_Module#Creating_3D_Grids (Erişim tarihi: 21.02.2019).

http-15. <http://gmstutorials-10.4.aquaveo.com/MODFLOW-ModelCalibration.pdf>.
Retrieved from <http://gmstutorials-10.4.aquaveo.com/MODFLOW-ModelCalibration.pdf> (Erişim tarihi: 5.7.2019).



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı :Bilge BİNGÜL
Yabancı Dil :İngilizce
Doğum Yeri ve Yılı :Çeşme / 1987
E-Posta :blgbngl@windowlive.com

Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

- 2019, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Tezli Yüksek Lisans Programı
- 2012 – 2015, CBS Uzman Yardımcılığı, İşlem Şirketler Grubu
- 2011, Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji (Hidrojeoloji) Mühendisliği Lisans Programı
- 2010, Stajyer Mühendis, DSİ 5. Bölge Müdürlüğü

Yayınları ve/veya Bilimsel/Sanatsal Faaliyetleri:

- Bingül, B., Pekkan, E., Korkmaz, S., Öztaşkın, G. ve Uçkan, Y. (2017). Evaluation Of Groundwater Flow Model in Olympos Ancient City, Antalya. *International Congress On The 75th Anniversary of Turkish Geographical Society*'de sunulan bildiri, Ankara: Ankara Üniversitesi, 8-10 Kasım 2017.
- Bingül, B., Pekkan, E., Korkmaz, S., Öztaşkın, G. ve Uçkan, Y. (2017). MODFLOW-USG Versiyonu Kullanılarak Olympos Antik Kenti Yeraltısuyu Modelleme Çalışması, 9. *Ulusal Hidroloji Kongresi*'nde sunulan bildiri, Diyarbakır: Dicle Üniversitesi, 4-6 Ekim 2017.

Ödülleri:

- Hacettepe Üniversitesi Fen Fakültesi ve Mühendislik Fakültesi kapsamında Proje Pazarı Sergisi ve Yarışması, 2011

Proje Konusu: Atmosferik Uzak Bağlantıların Türkiye Yağışları Üzerine Etkileri
Mühendislik Fakültesi Hidrojeoloji Mühendisliği bölüm üçüncülüğü ödülü