

**İSTANBUL KÜÇÜKÇEKMECE
GÖL HAVZASI KAZILARI
EXCAVATIONS OF KÜÇÜKÇEKMECE LAKE BASIN
(BATHONEA)**

BU KİTAP
MARPORT KÜLTÜR HİZMETİDİR





T.C.
KÜLTÜR VE TURİZM BAKANLIĞI



İSTANBUL KÜÇÜKÇEKMECE GÖL HAVZASI KAZILARI

EXCAVATIONS OF KÜÇÜKÇEKMECE LAKE BASIN
(BATHONEA)



ARKEOLOJİ VE SANAT YAYINLARI

ARKEOLOJİ VE SANAT YAYINLARI
İSTANBUL KÜÇÜKÇEKMECE
GÖL HAVZASI KAZILARI
EXCAVATIONS OF KÜÇÜKÇEKMECE LAKE BASIN
(BATHONEA)

Yayımlayan
Nezih BAŞGELEN

Editör
Şengül G. AYDINGÜN

Yardımcı Editörler
Błażej STANISLAWSKI, Şeniz ATİK, Haldun AYDINGÜN, Dürdane KAYA, Ayberk ENEZ

Fotoğraf Editörü
Haldun AYDINGÜN

İngilizce Editör
Emre KURUÇAYIRLI

Düzenleme
Erol BARLAS

ISBN: 978-605-???-???-?

Sertifika No: 10459

© 2017 Arkeoloji ve Sanat Yayınları Tur. San. Tic. Ltd. Şti.

Hayriye Cad. Cezayir Sok. No: 5/2 Beyoğlu-İstanbul

Her türlü yayın hakkı saklıdır / All rights reserved.

Yayınevinin ve yazarın yazılı izni olmaksızın elektronik mekanik,
fotokopi ve benzeri araçlarla ya da diğer kaydedici cihazlarla
kopyalanamaz, aktarılamaz ve çoğaltılamaz.

Makalelerin içeriği ile ilgili sorumluluklar yazarlara aittir.

Baskı-Cilt:

Kitabevi/Satış Mağazası

arkeo*pera*

Yeniçarşı Cad. No: 66/A

34433, Galatasaray

Beyoğlu-İstanbul

Tel.: 0212 249 92 26

www.arkeolojisanat.com / info@arkeolojisanat.com





İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZLER

“T.C. Kültür ve Turizm Bakanı **Prof. Dr. Numan KURTULMUŞ**’un Önsözü”

“Kocaeli Üniversitesi Rektörü **Prof. Dr. Saadettin HÜLAGÜ**’nün Önsözü”

“Polonya Cumhuriyeti Türkiye Büyükelçisi **Maciej LANG**’ın Önsözü”

“Marport Yönetim Kurulu Başkanı **Lucien ARKAS**’ın Önsözü”

“İstanbul’un İkinci Tarihi Yarımadası: Bathonea”
Milli Eğitim Bakanlığı Müsteşar Yrd. **Ahmet Emre BİLGİLİ**

Kazıya Başlarken	XIX
R. Haldun AYDINGÜN	
Nehir-Göl-Deniz Birleşiminde Bir Kazı Yeri (İlk Beş Yıllık Çalışma)	1
An Excavation Site at the Junction of River-Lake and Sea (Works of the First Five Years).....	13
Şengül G. AYDINGÜN	
Bathonea İsmi Üzerine Veriler ve Yorumlar	85
Scientific Data and Comments About the Name of Bathonea	93
Şengül G. AYDINGÜN	
Küçükçekmece Gölü Havzasının Jeomorfolojik Özellikleri	117
T. Ahmet ERTEK – Hakan KAYA	
Küçükçekmece Lagünü’nün Çevre Manyetizması ve Paleoklimsel Yorumu	125
Özlem MAKAROĞLU	
Geç Antik Çağ’da İstanbul’un Batısındaki Arazinin Tarihi Coğrafyası	135
Mustafa H. SAYAR	
Avcılar–Firuzköy Yarımadası 1. Derece Arkeolojik Sit Alanında Yapılan Jeofizik Araştırmalar.....	143
Ertan PEKŞEN–İsmail KAPANVURAL – Şerif BARIŞ	
Türker YAS – Hamdullah LİVAOĞLU	
Tunç Çağlarında Karadeniz-Marmara-Akdeniz Arasında Bir Aktarma Limanı: Küçükçekmece	153
Haldun AYDINGÜN	
Küçükçekmece Göl Havzası (Bathonea ?) Kazılarında Yapılan Jeofizik Araştırmalar	165
Ercan ERKUL – Harald STÜMPEL – Ertan PEKŞEN – Türker YAS -	
İsmail KAPANVURAL – Şerif BARIŞ	
Küçükçekmece Göl Havzası (Bathonea ?) Kazıları 2012-2015 Mimari Belgeleme/ Rölöve Çalışmaları.....	175
Asuman YARKIN YEŞİLIRMAK	

Küçükçekmece Gölü Sonar Tarama Çalışmaları	203
Hakan ÖNİZ	
Küçükçekmece Göl Havzası (Bathonea ?) Kazıları Büyük Sarnıç.....	217
Kerim ALTUĞ	
Küçükçekmece Göl Havzası (Bathonea ?) Kazıları Antik Çağ Su Temin Tünelleri	229
Ali Hakan EĞİLMEZ – Emre KURUÇAYIRLI – Metin ALBUKREK	
Gülşen KÜÇÜKALİ – Şengül G. AYDINGÜN	
Küçükçekmece Göl Havzası (Bathonea ?) Kazılarında Tespit Edilen Ahşap Bir Kapının Metal Aksanı ve Modellemesi	253
Ayberk ENEZ	
Küçükçekmece Göl Havzası (Bathonea ?) Kazıları Geç Antik Çağ Unguentariumları-2013	275
Dürdane KAYA	
Küçükçekmece Göl Havzası (Bathonea ?) Kazıları Geç Roma-Erken Bizans Dönemi Kandil Buluntuları	295
Ahmet ASLAN – Şengül G. AYDINGÜN - Ayberk ENEZ	
Küçükçekmece Göl Havzası (Bathonea ?) Kazılarında Ele Geçen Dipintolu LR2 ve Damgalı LR13 Amphoraları	313
Ülkü KARA	
Küçükçekmece Göl Havzası (Bathonea ?) Kazılarında Bulunan Amphora Tıparları	323
Dürdane KAYA – Ahmet ASLAN	
Bizans Dönemi Sırlı Seramikleri Hakkında Kısa Bir Değerlendirme	333
Gülsüm TÜRKMEN	
Ortaçağ'dan Bir Kurban Sahnesi	349
Şengül G. AYDINGÜN - Gülsüm TÜRKMEN	
Küçükçekmece Göl Havzası (Bathonea ?) Kazıları Geç Antik Dönem Cam Buluntuları.....	353
Şeniz ATİK – Merve ÖZKILIÇ	
Küçükçekmece Göl Havzası (Bathonea ?) Kazıları Osmanlı Lüleleri	379
Dürdane KAYA – Barış ÖZMEN	
Küçükçekmece Göl Havzası Kazılarında Bulunan Sikkeler ve Yerleşim Tarihine Katkıları	395
Oğuz TEKİN	
Küçükçekmece Gölü'nün Kuzeyinde Yer Alan Arkeolojik Sit Alanına İlişkin Floristik Gözlemler.....	403
Tamer ÖZCAN	
Küçükçekmece Göl Havzasında Tespit Edilen Kelebek Türleri.....	417
Bülent ŞEKER	

Küçükçekmece Göl Havzası (Bathonea ?) Kazıları Arkeozoolojik Analizleri	423
Vedat ONAR - Özlem SARITAŞ	
İstanbul'un İlk "Ören Yeri-Kent Parkı"; Bathonea ? Projesi	431
Asuman YARKIN YEŞİLİRMAK	
Bathynias - About Identification and Localisation of the Ancient River	443
Olga WEGLARZ	
Concerning The Identification Of The Site Excavated On The Küçükçekmece Lake (Turkey) - A Study Of Greek And Latin Written Sources About The Ancient Settlement Of Melantias	455
Olga WEGLARZ	
Relics of St. Mammes In Langres And The Byzantine Empire. Side Remarks From The Project Stambul/Constantinople Kucukcekmece-The Destination Port Of The Way From The Varangians To The Greeks, A Centre Of "Byzantinization" Of The Rus' Community	463
Tomasz PELECH	
Cult Centers of St Mamas in Constantine Porphyrogenitus' Works Side Remarks from the Project: <i>İstanbul/Constantinople - Küçükçekmece - The Destination Port of the Way from the Varangians to the Greeks, a Centre of "Byzantinization" of the Rus' Community</i>	469
Konrad SZYMAŃSKI	
Project: "Constantinople/Istanbul- Küçükçekmece The Destination Port of the Way from the Varangians to the Greeks, a centre of 'Byzantinization' of the Rus' Community" - Aims, Sources And Objectives Constantinople / İstanbul-Küçükçekmece Varangianlar'ın Yolu Türkiye- Polonya Ortak Projesi (Hedefler, Kaynaklar ve Amaçlar)	485
Błażej STANISŁAWSKI	
Harita ve Arşivlere Göre Küçükçekmece Gölü'nün Jeostratejik Konumu Ve Tarih Boyunca Kent Planlamasında ki Önemi (Regio – XIV ?)	505
Oğuz CEBECİ	
ÖZETLER	543
HAVA FOTOĞRAFLARI (Murat ÖZTÜRK)	557
TEŞEKKÜR	569



KÜÇÜKÇEKMECE GÖL HAVZASI (BATHONEA ?) KAZILARI ANTİK ÇAĞ SU TEMİN TÜNELLERİ

Ali Hakan EĞİLMEZ* – Emre KURUÇAYIRLI – Şengül AYDINGÜN
Metin ALBUKREK – Gülşen KÜÇÜKALİ

2009 yılından itibaren sürdürülen Küçükçekmece Göl Havzası (Bathonea) kazılarında 8. ve 24. bölgelerde Antik Çağ'a ait iki su temin tüneli tespit edilmiştir. İncelenmeleri ASPEG (Anadolu Speleoloji Grubu Derneği) ekibinden mağara araştırmacıları tarafından 2012 ve 2013 sezonlarında gerçekleştirilmiş olan söz konusu tüneller aşağıda değerlendirilmiştir.

24. alandaki Apsisli Yapı olarak adlandırılan 181 açmasının güneydoğusunda 2012 yılında yürütülen kazılarda yapının zemininde bulunan 1x0,5 m ölçülerinde bir kesme taş bloğun kenarından aşağı toprak sızdığı görülmüştür. Bir yeraltı yapısının girişini kapadığı anlaşılan bu taş blok kaldırıldığında, içinde su olan tünelin varlığı tespit edilmiştir (Aydınğün 2013: 44-45). Tünelin girişinin Apsisli Yapı'nın temellerinin altından gerçekleşmesi dolayısıyla tünel ilk olarak "Apsisli Yapı Tüneli" olarak adlandırılmıştır. Yalnız daha sonra tüneldeki suyun 28 m batıda yer alan antik çeşmeden aktığı belirlenince tünelin adı "Çeşme Tüneli" olarak güncellenmiştir. Toplam uzunluğu 144,4 m olarak ölçülen Çeşme Tüneli, bir ana galeri ve buna büyük olasılıkla sonradan eklenmiş olan yan galerilerden oluşmaktadır. Tünelin tavanı ise ana galeride düzgün kesilmiş taş bloklarla, yan galerilerde ise tuğla tonozla oluşturulmuştur. Tünelde yükseklikleri 4,5, 5, ve 7,7 m olan dikdörtgen kesitli üç baca tespit edilmiştir. Bacaların duvarlarında iniş ve çıkışı sağlamak için ayak basacak biçimde oyulmuş küçük nişler mevcuttur.

Çeşme Tüneli'nin 1 km kadar kuzey-kuzeybatı yönünde, 8. alanda ortaya çıkarılan ve yapımının I. Constantinus döneminde (MS 324-337) başladığı sanılan büyük açık sarnıcın (Büyük Sarnıç) yakınında, içinden her mevsimde su çıkışı olan diğer bir tünelin ağzı tespit edilmiştir (Aydınğün 2013: 45-47). Büyük Sarnıca su taşıdığı tahmin edilen ve böylelikle "Büyük Sarnıç Tüneli" olarak adlandırılan tünel 168,4 m uzunluğa, 0,45-0,70 m genişliğe sahip tek bir galeriden oluşmaktadır. Tünel boyunca 4,5 ve 6,3 m yüksekliğinde iki baca bulunmuştur ve bunların duvarlarında da Çeşme Tüneli'nde olduğu gibi nişler yer almaktadır. Yine Çeşme Tüneli'ne benzer şekilde bu tünelde de hem düzgün kesme taş bloklar, hem de tuğla tonoz sistemi kullanılmıştır.

Bulunan her iki tünelin girişleri, haritada işaretlenmiştir (**Res. 1**). Her iki tünelde de galerinin eğimi, %1 olarak saptanmıştır, ki bu suyun yavaş ve sürekli akışına imkân veren bir eğimdir. Su sıcaklığı iki tünelde de +14⁰ C olarak ölçülmüş, ve bu sıcaklığın yaz ve kış mevsimlerinde sabit kaldığı gözlenmiştir.¹

* Arkeolog, İstanbul Teknik Üniversitesi, mağara araştırmacısı, ASPEG üyesi, hakan@divebubbleclub.com
Ph. D. Arkeolog, mağara araştırmacısı, ASPEG üyesi, ekuruca@brynmawr.edu
Doç. Dr., Kocaeli Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Arkeoloji Bölümü, Prehistorya Anabilim Dalı Başkanı, sengulaydingun@kocaeli.edu.tr
Ph D., Çevre teknolojisi, mağara araştırmacısı, ASPEG üyesi, malbukrek@gmail.com
Mağara araştırmacısı, ASPEG üyesi, gulsenhera@gmail.com

1 Ölçümler hava sıcaklığının +26⁰ C olduğu Ağustos ayı ve +5⁰ C olduğu Aralık aylarında gerçekleştirilmiştir.

Her iki tünelde de galeriler bazı noktalarda aşırı daralmakta ve genişlikleri 0,25-0,30 m'ye kadar düşmektedir. Tünellerin bilinçli olarak bu kadar dar inşa edilmiş olması pek olası değildir. Duvarların orijinalde birbirinden daha uzak olup, zamanla bazı yer hareketlerinin etkisiyle belli noktalarda birbirine yaklaşmış olduğu sanılmaktadır. Toprağın aşırı yağmurlu dönemlerde duvarlara fazla baskı yapmış olması veya depremler sırasında duvarların yıkılmadan deforme olmaları bu durumun muhtemel sebepleri olabilir. Zaten yan duvarların sadece en dar noktalarda değil, tünellerin genelinde ve galeri genişliklerinin düzensiz olması da söz konusu doğal etmenlerin sonucu gibidir.

Bütün giriş noktaları taş bloklarla kapatılmış olan Çeşme Tüneli doğal olarak *in situ* bulunmuştur. Büyük Sarnıç Tüneli'nin ağzı hâlihazırda kapalı olmamakla beraber, çalılıklar arasında büyük oranda gizlenmiş ve uzaktan seçilmesi zor bir konumdadır. Tüneli definecilerden bir ölçüde gizlenmiş olan bu durum dışında, galerinin darlığı ve suyun soğukluğu da tünelin defineciler için çekiciliğini azaltmış olmalıdır. Yakın geçmişte bu tünelin en sonunda defineciler tarafından açılmış bir giriş oluşmuş, ancak bu girişin sonradan kapandığı görülmüştür.

Her iki tünelin içinde, suda yaşayan amfipodlara rastlanmıştır (**Res. 2**). Tür tespiti için başvurduğumuz Ege Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi'nden Prof. Dr. Murat Özbek, bunların Trakya Bölgesi'nde yaygın bulunan “*Gammarus Arduus*” türüne ait olduklarını belirtmiştir. Ayrıca, her iki tünelde planarya cinsi su canlıları görülmüştür (**Res. 3**).

Bu iki yapının keşfi ve araştırılması, kazı alanında ortaya çıkarılan yerleşim birimlerinin su ihtiyacının nerelerden karşılanmış olduğunu göstermesi açısından büyük öneme sahiptir. Muhtemelen uzak yol gemilerine de su sağlayan bu tünellerden bugün dahi yaz kış su çıkmaktadır.

Çeşme Tüneli

Apsisli Yapı'nın zemininde bulunan bir taş bloğun kaldırılmasıyla tünele giriş mümkün olmuştur (**Res. 4**). Tünele girilen noktadan ancak suyun geliş yönüne doğru ilerlemek mümkündür. Çünkü suyun aktığı yön hemen burada bir duvar ile kapatılmıştır. Düzenli yerleştirilmiş taşlarla, harçsız olarak örülmüş olan bu duvar, taşların arasından suyun geçişine izin verir ve belki de sudaki büyükçe nesnelere süzerek çeşmenin tıkanmasını önleyen kaba bir filtre görevi görmektedir (**Res. 5**).

Çalışmalar sırasında tünelin detaylı ölçümleri alınıp plan ve kesit çizimi yapılmıştır. Tünelin girişinden suyun geldiği yöne doğru 57 m uzanan ve içinde sürekli su akışı olan galeri “Sulu Ana Galeri” olarak adlandırılmıştır (**Res. 6**). Yan duvarları ölçüleri 0,2-0,4 m arasında olan kaba işlenmiş taşlarla örülmüş bu galerinin tavanı ise düzgün kesilmiş geniş taş plakalarla örtülüdür. Bu galeri, girişte 0,97 m yüksekliğinde ve 0,75 m genişliğindedir. Tünelin genelinde tavanın yüksekliği ise 1-1,5 m arasında olsa da bir noktada 2,5 m'ye kadar artmaktadır. Girişten suyun geldiği yönde ilerlemeye başlanınca, genişlik önce 0,57 m'ye, 10. m'de ise 0,33 m'ye kadar düşmekte ve ilerlemeyi güçleştirmektedir. Bu dar noktadan 26 m sonra ise tünelin ilk bacasına ulaşılmaktadır. Kesiti 0,56x1,06 m boyutlarında bir dikdörtgen formunda olan baca 4,5 m yüksekliğindedir ve üzeri düzgün kesilmiş üç adet taş blokla kapatılmıştır. Bu bacada yaptığımız en ilginç gözlem, zeminden 1,75 m yukarıda başlayan ve kuzeybatı ve güneydoğu yönlerine doğru uzanan iki kanalın tespiti olmuştur. Zeminleri molozla kaplanmış olan bu kanalların sonları da muhtemelen yağmurlarla yukarıdan sürüklenen toprak ve molozla tıkanmıştır (**Res. 6**).

Bacadan sonra 4 m daha ilerlendiğinde “Sulu Ana Galeri”den sola doğru, içinde su olmayan bir kol ayrılır (**Res. 7**). Bu kol 17 m uzunluğundadır ve zeminindeki 1-1,3 m kalınlığındaki çamur tabakasından dolayı “Çamurlu Galeri” olarak adlandırılmıştır. Sulu Ana Galeri'nin tavanının düzgün kesilmiş taşlarla yapılmış olmasına karşın, Çamurlu Galeri'nin tavanı tuğlayla örülmüş tonoz biçimindedir (**Res. 8**). Bu galeri 5 m yüksekliğinde bir baca ile sona ermektedir. Kesiti 0,5 x 0,67 m boyutlarında bir dikdörtgen olan bacanın üzeri tek bir taş plaka ile kapatılmıştır (**Res. 9**). Tünelin yapım ya da onarım tarihi ile ilgili ipucu veren tek buluntu olan damgalı bir tuğla da bu bacanın nişlerinin birinde bulunmuştur (**Res. 10**). Bazı harfleri belirsiz olan tuğlanın fotoğrafı, İstanbul Üniversitesi, Eski Çağ Tarihi Anabilim Dalı

öğretim üyesi Prof. Dr. Mustafa Hamdi Sayar tarafından incelemiş ve muhtemelen 22. vergi dönemine (*indiktion*) yani MS 5-6. yy'a tarihlenebileceği belirtilmiştir (Sayar 2013: 53-54).

Yol ayrımında sağa doğru Sulu Ana Galeri'den devam edildiğinde, 10 m sonra bu galeri 1,60 m yükseklikte, ancak son derece dar bir yarık halini almaktadır. Galerinin genişliği en üst kesimde 0,40 m, daha aşağıda ise 0,10 m'ye kadar düşmektedir (**Res. 11**). Büyük zorlukla geçilebilen bu dar bölüm 5,5 m sonra biraz genişlemektedir. Burada Sulu Ana Galerinin yapısal şeklinin sona erdiği görülmektedir. Ancak tavan kaplamasından, bu ana galerinin devam ettiği, ancak devamının daha sonra bilinçli olarak kapatıldığının izleri görülebilmektedir (**Res. 12**). Bu da, tünelin, değişik zamanlarda tamir gördüğünü göstermektedir. Bu noktadan 45° kadar sola dönülüp, alçak ve dar bir yerden zorlanarak geçildiğinde, Sulu Ana Galeriye su getiren, başka bir galerinin başlandığı görülür. 12 m uzunluğunda, 1,5 m yükseklikte ve 0,35 m genişliğinde olan bu yeni galeriye tavandan sarkan ağaç köklerinin yoğunluğu dolayısıyla "Sarkan Kökler Galerisi" adı verilmiştir (**Res. 13-14**). Bir önceki yan kolda, yani Çamurlu Galeri'de olduğu gibi bu galerinin tavanı da tuğla tonozla örülmüştür. Galeri boyunca 12 m ilerlendiğinde, 7,7 m yüksekliğindeki ve 1x1 m kesitindeki üçüncü bacaya ulaşılmaktadır (**Res. 15-16**). Bacanın üzeri taş plakalar ile kapatılmıştır. Üst noktaya yakın bir yerden dar bir deliğin düzensiz bir biçimde bir-iki m daha yukarı devam ettiği görülmüştür. Bu deliğin altındaki yatay duran bir sütun dikkat çekicidir (**Res. 16**). Yıllar içerisinde, bu delikten akan toprak, bacanın zemininde küçük bir tümsek oluşturmuştur.

Bacada galeri ikiye ayrılmaktadır. Düz devam eden galeri 1,40 m yüksekliğinde ve 0,35 m genişliğinde 13 m ilerledikten sonra sona ermektedir (**Res. 17**). Bu koldaki bir duvarda gözlenen is lekesi, Antik Çağ'da tünelde yapılmış inşa veya tamir işlemlerinden bir kalıntıdır ve yaptığımız en ilginç gözlemlerdendir (**Res. 18**). Bacadan sola ayrılan kol ise 1,60 m yüksekliğindedir ve 11 m devam ettikten sonra genişliğin 0,25 m'ye düştüğü noktada sona ermektedir. Her iki kol da taş duvar ile örülerek kapatılmıştır.

Genel olarak, tüneldeki mevcut galerilerde birden çok mimari tekniğin kullanılmış olması farklı yapım aşamaları olduğunu düşündürmektedir. Tavanı taş plakalarla örtülü olan Sulu Ana Galeri'nin "aç-kapa" yöntemi ile inşa edildiği ve diğer yan galerilerden daha eski olduğu tahmin edilmektedir. Bu ana galeriye bağlanan yan kol görünümünde olan diğer galeriler ise tuğla tonozlu tavanlarıyla mimari bakımdan ana galeriden farklıdır ve büyük ihtimalle sonradan yapılmış eklentilerdir. Olasılıkla yerleşimin su ihtiyacı zamanla artmış ve tünelin büyütülerek su toplama kapasitesini artırma gerekliliğini doğurmuştur.

Söz konusu tünelin yeraltından topladığı ve çeşmeye aktardığı suyun debisi, Kasım 2013'de saatte 1 m³, Ağustos 2016'da ise 0,9 m³ olarak ölçülmüştür. Bu su, kamuya açık bir çeşmenin kaynağı olması dolayısıyla, yalnızca evsel su ihtiyacını karşılamış olmalıdır. Söz konusu dönemde kişi başına düşen günlük ortalama su ihtiyacını kesin olarak bilmek mümkün olmamakla beraber, A. T. Hodge'un Roma İmparatorluk Dönemi için kabul ettiği miktar olan günde 10 litre, akla yakın görünmektedir (Hodge 2002: 305).² Bu rakam baz alındığında, Çeşme Tüneli'nin sağladığı saate 0,9 m³, yani günde 21.600 litre suyun en fazla 2160 kişinin günlük su ihtiyacını karşıladığını düşünebiliriz. Alternatif olarak, UNESCO'nun 1970'li yıllarda gelişmekte olan ülkelerde yürüttüğü araştırmalarda elde ettiği miktar olan kişi başı günde ortalama 25 litre rakamı (Hodge 2002: 464) göz önünde bulundurulursa, bu sayı 864'e düşmektedir. Öte yandan, bugün birkaç yerde, suyun akışını engelleyen toprak ve çamur birikintileri olduğu düşünüldüğünde, bakımının düzenli yapıldığı Antik Çağ'da, çeşmeden akan suyun debisinin, bugün ölçülenden yaklaşık %50 daha fazla olması muhtemeldir.

Büyük Sarnıç Tüneli

Kazılar sırasında, Çeşme Tüneli'nin 1 km kadar kuzeybatısında ortaya çıkartılan büyük açık sarnıca su

2 Kıtık veya kuşatma gibi zor şartlar altında, diğer kaynaklar gibi suyun da fazlasıyla idareli tüketilmiş olması muhtemeldir. Antik Atina'dan bilinen bir örnek, böyle şartlarda kent halkının günde kişi başı 2 litre su kullanarak hayatta kalabildiğini göstermektedir (Hodges 2002: 59-60).

aktardığı tahmin edilen bu tünel 168,4 m uzunlukta ve 0,45-0,70 m genişlikte tek bir galeriden oluşmaktadır. Çalışmalar sırasında tünelin detaylı ölçümleri alınıp plan ve kesit çizimi yapılmıştır (**Res. 19**). Ağızından her mevsimde su çıkışı gözlenen tünelin girişi çok dar ve alçak olup, ancak emekleyerek ilerlemeye olanak sağlamaktadır (**Res. 20**). Girişten 20 m sonra, sağ duvarın kayarak soldaki diğer duvara doğru bombe yaptığı görülmektedir. Genişliğin 0,25 m'ye kadar düştüğü bu nokta ancak büyük güçle geçilebilmiştir (**Res. 21**). Dar bölüm geçildikten 5 m sonra zeminde kurna biçimli traverten oluşumlar başlamakta ve bunlar tünelin sonuna kadar devam etmektedir. Belli ki tünelin çıkış ağzının atmosfere açık oluşu doğal mağaralarda gördüğümüz ortamı yaratmış ve tünelin içindeki sudan karbon-dioksit kaçışına olanak sağlamıştır. Kireçtaşının suda çözünmesini sağlayan karbondioksitin bu şekilde azalması sonucunda kireçtaşı artık suda çözünmüş durumda kalamamış ve çökerek bu travertenleri oluşturmuştur (**Res. 22-23**). Travertenler başladıktan sonra tünelin gerçek zemininin hangi seviyede olduğunu tespit etmek mümkün değildir. Galerinin yüksekliği bugün 0,4-1,15 m arasında değişse de, tünel içinde ilerleme ve çalışmanın zorluğu düşünüldüğünde, inşa sırasında tavanın bu kadar alçak planlanmış olma ihtimali çok düşüktür. Bu yüzden tünelin gerçek yüksekliği çok daha fazla olmalıdır. Ayrıca, travertenlerin yükselmesi ile bazı kurnaların içinde yarım metreden derin gölcükler oluşmuştur. Gölcükler, traverten oluşumların yüzeyinin keskin olması ve tavanın alçaklığı, tünelde ilerleme, araştırma ve harita ölçüm çalışmalarımızı ciddi şekilde zorlaştırmıştır (**Res. 24-25**).

Travertenlerin başladığı noktada (girişten 27. m'de) tünelin mimari yapısında da önemli bir değişiklik görülmektedir. Bu noktaya kadar taş plakalarla kaplı olan tavan yapısı (**Res. 26**), yerini kaba yontulmuş taşlarla örülü tonoz mimariye bırakmaktadır (**Res. 27**). Buradan 8 m sonra da tuğla kullanılarak oluşturulmuş tonozlu yapı, taşlı tonozun yerini almaktadır. Tünelin geri kalan bölümü boyunca tavan yapısı tuğlalı tonoz olarak devam etmektedir (**Res. 24**). Ancak tünelin en son noktası çok düzgün yontulmuş, 1 m uzunluğunda, 0,25-0,35 m genişliğinde taş bloklarla yapılmış bir kemer biçimindedir (**Res. 28**). Çeşme Tüneli'nde olduğu gibi Büyük Sarnıç Tüneli'nde de aynı tünel sistemi içinde değişik mimari teknikler kullanılmıştır. Yukarıda belirttiğimiz gibi, bu değişikliklerin farklı galerilerde görüldüğü Çeşme Tüneli'nde bunların farklı yapıım evrelerini temsil etme ihtimali kuvvetlidir. Ancak, tek bir galeriden oluşan Büyük Sarnıç Tüneli'nde ise bunu söylemek zordur. Tünelde, yükseklikleri 4,5 ve 6,3 m olan iki baca mevcuttur ve bunların duvarlarında da, Çeşme Tüneli'nde olduğu gibi ayak basma nişleri yer almaktadır (**Res. 29**).

Tünelin sonunda bulunan kırık PVC atık su borusu parçaları buranın defineciler tarafından yakın zamanda tahrip edilmiş olduğunu göstermiştir. Galerinin sonunda bulunan toprak ve moloz yığını da belli ki bu tahribatın sonucu oluşmuştur. Definecilerin tünele ağızdan girerek, gerekli donanımına sahip olmadan soğuk suyun içinde ve alçak galeride sürünerek bu kadar uzun bir mesafe boyunca ilerlemiş olma ihtimalleri yüksek değildir. Tünele daha önce girildiğine dair tek izin de yalnız en dip noktada görülmesi bu görüşü desteklemektedir. Galerinin sonundaki tahribatı yapan kişilerin bugün görülmeyen ve belki de tahribat sonucu oluşmuş olan toprak yığını tarafından kapanmış bir yan galeri veya bacadan tünele girmiş olmaları olasılığı akla daha yakın görünmektedir.

Ağustos 2016'da tünelden çıkan su debisi günde 14,5 m³ olarak ölçülmüştür. Bu tünel, tahmin ettiğimiz gibi Büyük Sarnıç besleyen bir kaynak ise, bu sarnıcın hacmi yaklaşık 7000 m³ ve bu kadar geniş bir alandan buharlaşma ve sızıntıların neden olacağı su kayıpları düşünüldüğünde, sarnıcı besleyen su debisinin Antik Çağ'da çok daha fazla olması gereklidir. Bölgede 25 yıldır görev yapan İstanbul Üniversitesi Veterinerlik Fakültesi güvenlik görevlisi Mehmet Hot'un 2003 yılında tünelin sonundaki tahribatın ilerisinde muhtemel su kanalları ve büyük hazne görmüş olması da bu görüşü destekler. Diğer bir ihtimal ise, henüz tespit edilmemiş sarnıcı besleyen ilave tünellerin varlığıdır.

Büyük sarnıçta biriken su büyük olasılıkla şehir sınırları dahilindeki bostan veya bahçeleri sulamak için kullanılmış olmalıdır. Bu dönemde yapılmış büyük, açık sarnıçların bu amaca hizmet ettiği düşünülmektedir, çünkü bunlarda toplanan su dış etkenlerle kirlenmeye fazlasıyla açıktı ve büyük ihtimalle içme suyu olarak kullanılmaya uygun değildi. İstanbul'daki üç açık sarnıç da muhtemelen şehrin içinde

geniş bir alan kaplayan ve özellikle kuşatma zamanında besin ihtiyacını karşılamak üzere oluşturulmuş bostanların sulanması için yapılmıştı (Crow vd. 2008: 129). Buna karşın, içme suyu olarak veya yemek yapımında kullanılan su büyük ölçüde kapalı sarnıç, kuyu ve çeşmelerden sağlanmış olmalıdır.

Araştırılan Tüneller ve “Kanat” Su Nakil Sistemleri

“Kanat” sistemi, yerüstü su kaynaklarının yetersiz olduğu kurak bölgelerde, yeraltı sularını ihtiyaç duyulan noktaya nakleden bir tünel sistemidir. Bu sistemler, yeraltı suyunu yavaş ama sürekli şekilde akıtan ve kaynağından daha düşük bir irtifada yeryüzüne çıkmasını sağlayan hafif eğimli tüneller ve bu tünellere yer yüzeyinden erişim sağlayan baca dizilerinden oluşur. Söz konusu bacalar, hem tünel kazılırken yeraltında izlenecek yönün doğruluğunun kontrolünü, hem de hafriyat toprağının dışarı atılmasını sağlar. Ayrıca bu bacalar tünellerde zamanla birikecek çamurun temizlenmesi ve gerekli tamiratların yapılması için kullanılan girişlerdir (Cressey 1958: 27-36; Hill 1997: 33-35; Wilson 2008: 290). Doğal olarak, Küçükçekmece Gölü kıyısındaki yerleşimde ortaya çıkarılan ve detaylı tasvirleri yukarıda verilen iki yapı da, yeraltı suyunu toplayan ve belli bir mesafe taşıyarak yeryüzüne çıkaran hafif eğimli galeriler ve bu galeriler boyunca sıralanmış bacalarıyla kanat sisteminin tipik örnekleridir (**Res. 30**).

Kanat sistemleri, Ortadoğu başta olmak üzere, Kuzey Afrika’dan Çin’e, hatta Güney Amerika’ya, kadar dünyanın birçok kurak bölgesinde eski dönemlerden günümüze kadar kullanılmıştır.³ Kanat sisteminin en erken örneklerine genel olarak Ortadoğu’da MÖ 1. binyılda rastlansa da, aşağıda bahsedileceği gibi Troya’da ortaya çıkarılan bir yapı bu tekniğin en azından Batı Anadolu’da Tunç Çağı’nda bile kullanılmış olabileceğini göstermektedir (Korfmann 2001: 73-75; Korfmann 2002; Korfmann vd. 2006). Kanat tünellerinden bahseden en eski yazılı kaynaklar MÖ 8. yüzyıla ait Asur belgeleridir. Bu kaynaklar Asur Kralı II. Sargon’un (MÖ 721-705) Urartulara karşı yaptığı sefer sırasında İran’ın kuzeybatısında olduğu tahmin edilen Ulhu şehrine suyun yeraltı kaynaklarından ve tüneller yardımıyla taşındığı kaydetmiştir (Hill 1997: 35-36; Magee 2005: 223). Daha sonraki yüzyıllarda ise kanat tekniğinin, yine İran kökenli görkemli Pers Krallığı (MÖ 538-332) tarafından Arabistan ve Mısır gibi fethettiği bölgelere getirildiği, sonrasında da Kuzey Afrika’nın Sahra kavimleri tarafından öğrenildiği görüşü genellikle kabul edilir (Cressey 1958: 27; Wilson 2008: 291). Buna karşın, Arap Yarımadası’nın güneydoğusunda ve Kuzey Afrika’da ortaya çıkarılmış bazı kanat tünellerinin MÖ 1. bin yılın ilk yarısına, yani Pers dönemi öncesine tarihlenme ihtimali bu geleneksel görüşle çelişkilidir (Magee 2005). MÖ 1. binyılın son yüzyıllarına gelindiğinde ise Romalılar bu tekniği fethettikleri Kuzey Afrika’da öğrenerek, Avrupa ve Ortadoğu’da egemen oldukları bazı bölgelerde, zaten ustası oldukları su kemerleriyle birleştirerek uygulamıştır.

Ortadoğu’nun görece iyi yağış alan veya yerüstü su kaynaklarına erişimi olan bölgelerinde ise su ihtiyacı büyük ölçüde akarsulardan ve kuyulardan karşılanmış, yeraltı suyuna ulaşmak ve bunu yeryüzüne taşımak için kazılan uzun tünel sistemlerine ihtiyaç olmamıştır (Cressey 1958: 42; Magee 2005: 228-229). Türkiye’de de durum böyledir ve yerleşimlerin su ihtiyacını karşılamak için uzun tünellerin kullanımını Van ve yakın çevresi, Ahlat, Şanlıurfa, Gaziantep, İskilip ve Zile ile sınırlı kalmıştır. Ülkemizde çoğunlukla “kehriz” olarak adlandırılan bu tünellerin yapım tarihleri genellikle belli olmamakla beraber, bazılarının antik dönemlere ait olma olasılığı vardır. Bununla beraber, bu sistemlerin kullanımı ve yapımının günümüzde de devam ettiği Ortadoğu ve Orta Asya ülkelerinin aksine, Türkiye’deki örneklerin neredeyse tamamı modern su şebekelerinin tesisleriyle işlevini yitirmiştir (Kozanoğlu 2013: 104-107).

Bu bakımdan Küçükçekmece Gölü kıyısında ortaya çıkarılan iki yapı kanat sisteminin Türkiye’deki son derece nadir örnekleri olmaları dolayısıyla özellikle önem taşımaktadır. Troya’da bulunan ve araştırması

3 Kanat (qanat) bu tünel sistemlerine Ortadoğu genelinde verilen ortak Arapça isimdir. Bununla beraber, Arabistan Yarımadası’nda kullanılan “aflaj”, İran’da kullanılan “karez”, Anadolu’da kullanılan kehriz ve Kuzey Afrika’da kullanılan “foggara” aynı sisteme verilen yerel isimlerdir. Bkz.: Cressey 1958: 27, 38-44; Wilson 2008: 291-293., Kozanoğlu 2013: 104-107.

yakın bir tarihte tamamlanmış olan benzer bir yapı da yine bu sebepten dikkate değerdir. Söz konusu buluntu, Troya antik kentinin Aşağı Şehir olarak tanımlanan kesiminde bulunan insan yapısı tüneldir ve kazı ekibi tarafından Pınar-Mağara⁴ olarak adlandırılmıştır (Korfmann 2001: 73-75; Korfmann 2002; Korfmann vd. 2006). Toplam uzunluğu 160 m olan ve yeraltı suyunu toplayarak küçük havuzlara akıtan bu tünel sistemi, en derini 17 m olan dört bacasıyla kanat sistemlerinin tipik özelliklerini yansıtır (**Res. 31-33**).

Bu yapı ayrıca Küçükçekmece Gölü kıyısındaki yerleşimde araştırmasını gerçekleştirdiğimiz iki tünelle benzerlikler gösterir. Araştırdığımız Çeşme Tüneli gibi, Troya'daki yapı da ana galeriye bağlanan yan kollara sahiptir ve bunlar araştırma ekibi tarafından orijinal galeriye yapılmış daha geç eklentiler olarak yorumlanmıştır (Korfmann 2002). Ayrıca, Büyük Sarnıç Tüneli'nde olduğu gibi Troya'daki tünelin içinde de kireçtaşı çökelleri oluşmuştur. Tarihlemeye yardımcı olacak arkeolojik buluntu vermeyen tünelin yaşıyla ilgili ipuçları da zaten bu çökellerden elde edilmiştir. Bunlardan alınan örneklerin uranyum-toryum yöntemiyle yapılan yaş belirlenmesi, tünelin MÖ 3. binyıldan (Erken Tunç Çağı), MS 3. yüzyıla kadar kullanılmış olabileceğini göstermiştir (Korfmann 2001: 75; Korfmann vd. 2006: 340-342). Eğer bu veriler tünelin gerçek yaşını yansıtıyor ise, Troya'daki yapı kanat sisteminin MÖ 1. binyıl öncesine tarihlenen ilk örneğidir ve bu tekniğin tarihinin bilinenden çok daha eski olduğunu göstermesi bakımından önemlidir.

Değerlendirme

Araştırdığımız tünellerden Çeşme Tüneli, içinde bulunan damgalı tuğla sayesinde MS 5-6. yüzyıla tarihlenmiştir. Buna karşın tuğlanın orijinal tünele sonradan eklenmiş olduğunu düşündüğümüz bir galeride bulunmuş olması, en eski "Sulu Ana Galeri"nin daha yaşlı olabileceği ihtimalini doğurmaktadır. Büyük Sarnıç Tüneli ise tarihlemeye yardımcı olacak bir buluntu vermemekle birlikte, beslediği açık sarnıcın damgalı tuğlalar sayesinde I. Constantinus dönemine (MS 324-337) tarihlenmesi, tünelin de bu dönemde yapılmış olma ihtimalini kuvvetlendirmektedir. İstanbul'un 22 km batısında ortaya çıkarılan bu yapıların, başkentin en büyük ve önemli su yapılarıyla, yani Valens (Bozdoğan) Kemeri (MS 373), yalnızca yazılı kaynaklardan bilinen Modestica açık sarnıcı (MS 363-369), bugün de yerlerinde duran Aetius (MS 421), Aspar (MS 459) ve Mokios (Erken 6. yy.) açık sarnıçları ve Bazilika (Yerebatan) Sarnıcı (MS 527) ile büyük ölçüde çağdaş oldukları söylenebilir (Crow vd. 2008: 14-19, 126-132) (**Res. 33-34**).

İstanbul'un MS 330'da I. Constantinus tarafından Roma İmparatorluğu'nun yeni başkenti yapılması bu kenti dönemin en önemli metropolüne dönüştürmüştür. Küçükçekmece Gölü kıyısında, ilk kuruluşu Hellenistik döneme uzandığı sanılan ve Semavi Eyice tarafından Bathonea olarak Byzantion'a bağlı bir Phyle olduğu düşünülen (Eyice 1977-1978: 59) yerleşimde sürdürülen kazılar, bu girişimin sadece yeni başkenti değil, onun yakın çevresindeki daha küçük yerleşimleri de büyük çapta dönüştürdüğünü göstermiştir. Bu kazılarda ortaya çıkarılan, Hellenistik temeller üzerine inşa edilmiş 4. ve 6. yüzyıla ait büyük kamusal yapılar zaten deniz ticareti için müsait konumda olan kentin bu dönemde önemli ölçüde büyüyüp önem kazandığını kanıtlar. Yalnız bu büyüme aynı başkentte olduğu gibi artan su ihtiyacını da beraberinde getirmiş ve büyük su nakil ve depolama yapılarının inşasını gerekli kılmıştır.

Küçükçekmece kıyısındaki yerleşimde ortaya çıkarılan yapıları farklı ve özel kılan nokta ise su toplama ve nakil işlevi için kanat tünellerinin kullanılmış olmasıdır. Söz konusu çeşmeyi ve sarnıcı beslemek için, yalnız İstanbul çevresinde değil, Batı Anadolu ve Balkan coğrafyasının genelinde çok nadir rastlanan bu tekniğin seçilmiş olması gerçekten ilginçtir. Romalıların kanat sistemini başarıyla kullandığı göz önüne alındığında, araştırdığımız tünellerin, bu tekniği imparatorluğun başka bölgelerinde uygulamış olan ve İstanbul'un başkent olmasını takiben bu çevreye getirilen Romalı mühendisler tarafından yapılmış olma olasılığı yüksektir.

4 Almanca "Quellhöhle", İngilizce "Spring Cave".

KAYNAKÇA

- Aydınğün 2013 Aydınğün, Ş. 2013. "Küçükçekmece Gölü Havzası (Bathonea?) Kazıları (2009-2012)", *İstanbul Araştırmaları Yıllığı/Annual of Istanbul Studies* 2: 23-35.
- Cressey 1958 Cressey, G. B. 1958. "Qanats, Karez, and Foggaras", *Geographical Review* 48: 27-44.
- Crow vd. 2008 Crow, J., J. Bardill ve R. Bayliss 2008. *The Water Supply of Byzantine Constantinople*, Oxbow Book, Londra.
- Eyice 1977-78 Eyice, S. 1977-78. "Tarihte Küçükçekmece", *Güneydoğu Avrupa Araştırmaları Dergisi* 6-7: 57-123.
- Hill 1997 Hill, D. 1997. *A History of Engineering in Classical and Medieval Times*, Psychology Press, New York.
- Hodge 2002 Hodge, A. T. 2002. *Roman Aqueducts & Water Supply*, Duckworth, London.
- Korfmann 2001 Korfmann, M. 2001. "Wiliusa/(W) Ilios ca. 1200 v. Chr.-Ilios ca. 700 v. Chr.", *Traum und Wirklichkeit Troia*: 64-76.
- Korfmann 2002 Korfmann, M. O. 2002. "Die Arbeiten in Troia/Wilusa 2001-Work in Troia/Wilusa", *Studia Troica* 12: 1-33.
- Korfmann vd. 2006 Korfmann, M. O., N. Frank ve A. Mangini 2006. "Eingang in die Unterwelt-Die Höhle von Troia und ihre Datierung", *Troia: Archäologie eines Siedlungshügels und seiner Landschaft*: 337-342.
- Kozanoğlu 2013 Kozanoğlu, H. 2013. *Anadolu'da Suyun İzi*, ASKİ Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara.
- Magee 2005 Magee, P. 2005. "The Chronology and Environmental Background of Iron Age Settlement in Southeastern Iran and the Question of the Origin of the Qanat Irrigation System", *Iranica Antiqua* 40: 217-231.
- Sayar 2013 Sayar, M. H. 2013. "Küçükçekmece Gölü Kuzeybatı Kıyısında Ortaya Çıkarılan Yapılarda Bulunan Tuğlalar Üzerindeki Damgalar Hakkında Ön Rapor", *İstanbul Araştırmaları Yıllığı/Annual of Istanbul Studies* 2: 53-55.
- Wilson 2008 Wilson, A. I. 2008. "Hydraulic Engineering and Water Supply", *The Oxford Handbook of Engineering and Technology in the Classical World*: 285-318.



Res. 1: Bulunup araştırılan iki su tünelinin konumları.



Res. 2: Tünellerde yaşayan amfipodlar; A: Çeşme tüneli, B: Büyük Sarnıç tüneli (M. Albukrek).



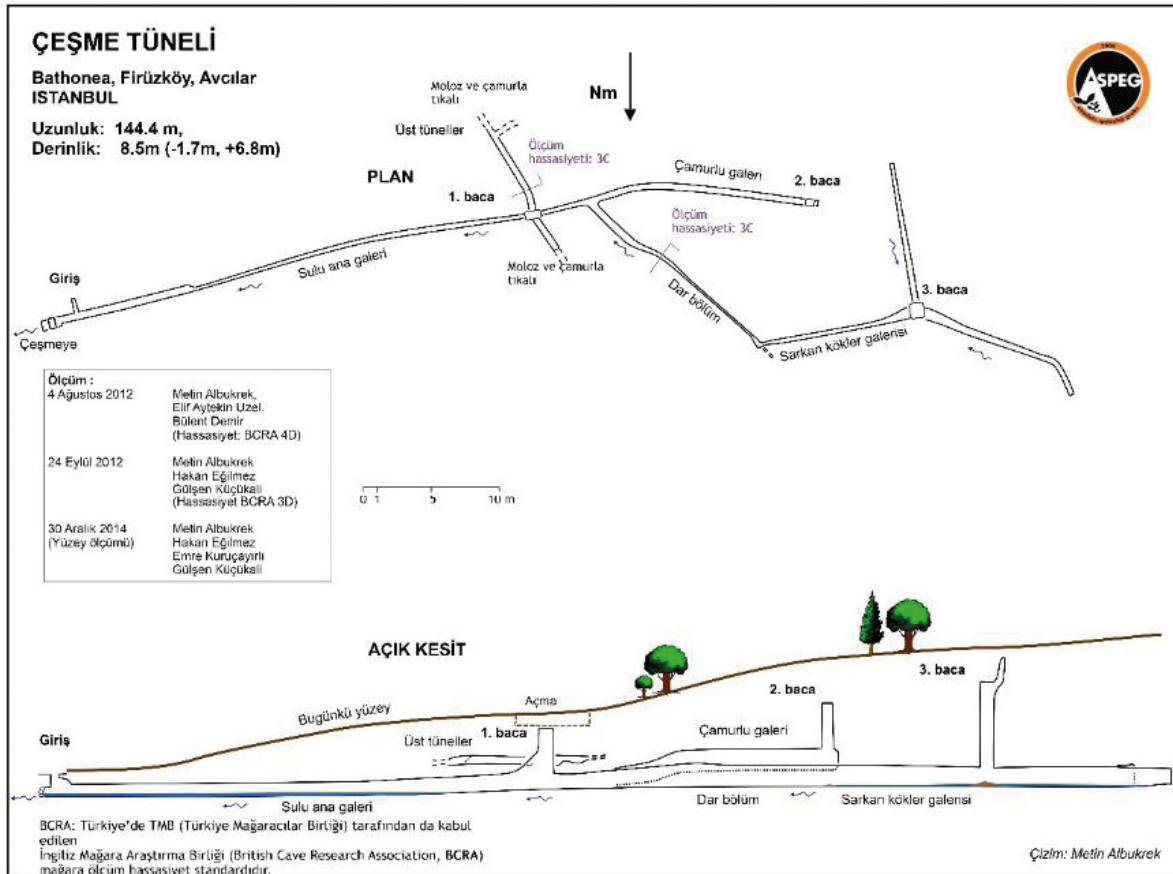
Res. 3: Tünellerde yaşayan planaryalar (M. Albukrek).



Res. 4: Çeşme Tüneli'nin girişi (E. Aytekin-Uzel).



Res. 5: Çeşme Tüneli'nde suyun çeşmeye doğru aktığı yön (M. Albukrek).



Res. 6: 'Çeşme Tüneli' haritası.



Res. 7: 'Sulu ana galeri'den sola ayrılan 'Çamurlu kol' (E. Aytekin-Uzel).



Res. 8: 'Çamurlu galeri'nin tavanı (E. Aytekin-Uzel).



Res. 9: ‘Çamurlu kol’un sonundaki baca (M. Albukrek).



Res. 10: ‘Çamurlu kol’un sonundaki bacadaki damgalı tuğla (M. Albukrek).



Res. 11: 'Sulu ana galeri'nin geçilmesi en zor bölümü (M. Albukrek).



Res. 12: 'Sulu ana galeri'nin devamının tavandaki izleri (M. Albukrek).



Res. 13: ‘Sarkan kökler galerisi’ (M. Albukrek).



Res. 14: ‘Sarkan kökler galerisi’ zemini (M. Albukrek).



Res. 15: Çeşme tünelinin üçüncü bacası (M. Albukrek).



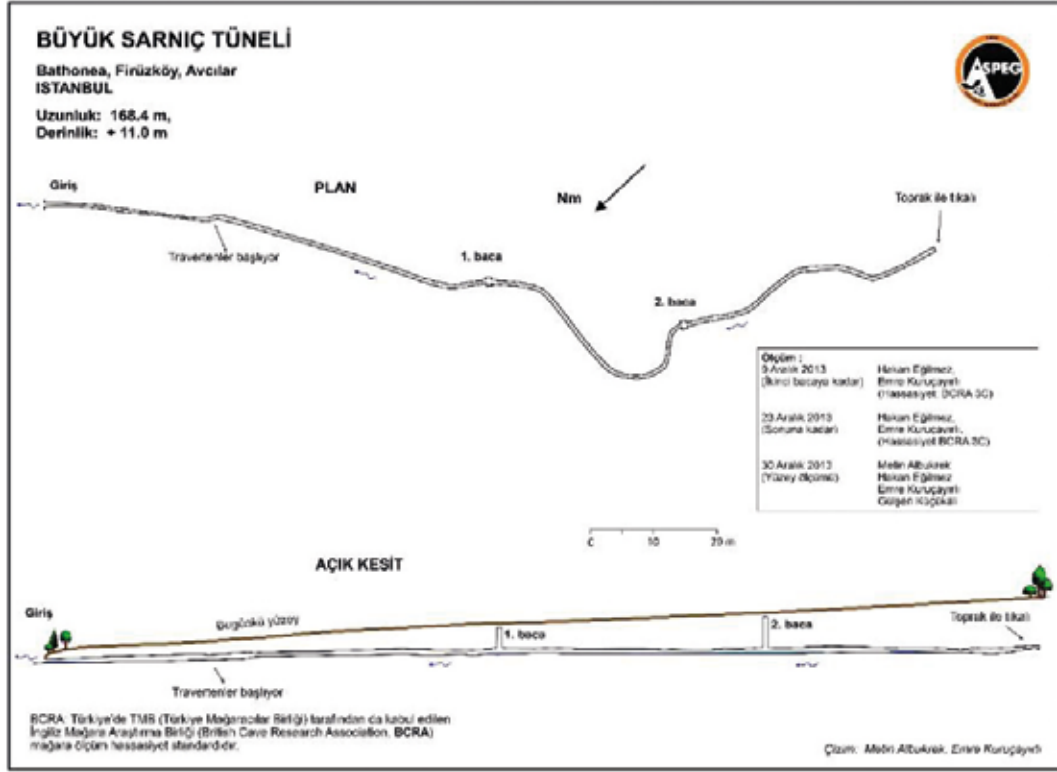
Res. 16: Çeşme tünelinin üçüncü bacası üzerindeki delik ve sütun (H. Eğilmez).



Res. 17: 'Sarkan kökler galerisi'nin sonu (M. Albukrek).



Res. 18: 'Sarkan kökler galerisi'nin sonundaki duvardaki is lekesi (H. Eğilmez).



Res. 19: 'Büyük Sarnıç Tüneli' haritası.



Res. 20: 'Büyük Sarnıç Tüneli'nin dar girişi (M. Albukrek).



Res. 21: Büyük Sarnıç Tüneli'nin dar geçişi (M. Albukrek).



Res. 22: Traverten oluşumlar (M. Albukrek).



Res. 23: Travelten oluşumlar (H. Eğilmez).



Res. 24: Traveltenler nedeni ile yükselmiş zemin (M. Albukrek).



Res. 25: Soğuk ve ıslak ortamda yapılan harita ölçüm çalışmaları (M. Albukrek).



Res. 26: Girişten 27. m'ye kadar taş plaka kaplı tavan (H. Eğilmez).



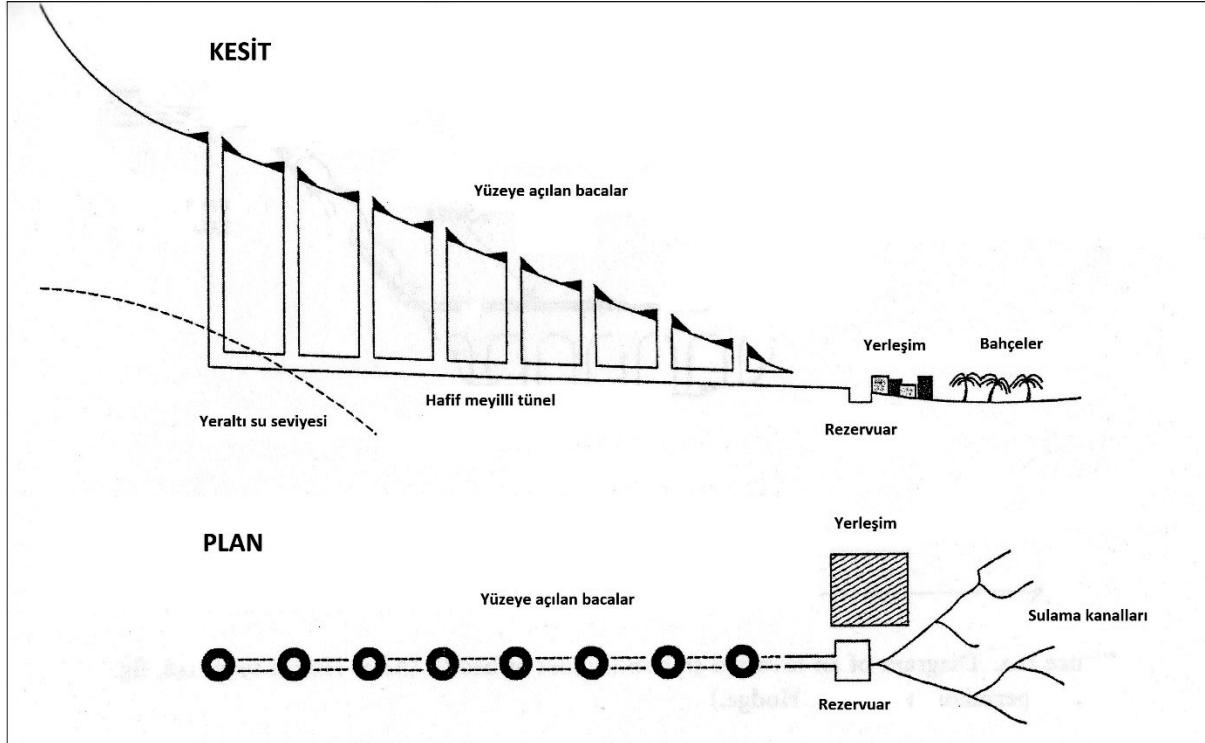
Res. 27: Tavan kaplamasının taş plakadan taş tonozla değiştiği yer (M. Albukrek).



Res. 28: Büyük Sarnıç tünelinin sonu (M. Albukrek).

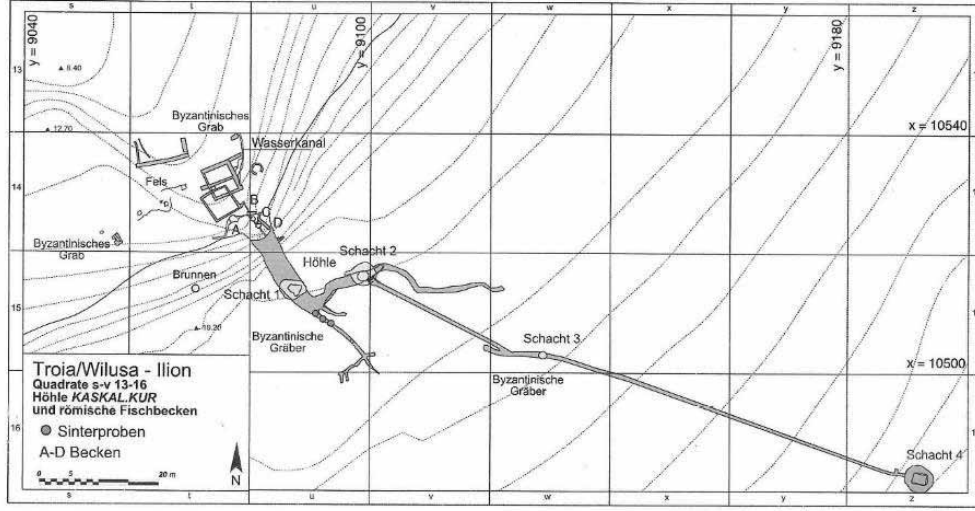


Res. 29: Büyük Sarnıç tünelineki birinci baca (M. Albukrek).



Res. 30: Tipik kanat sistemi (Wilson 2008: 292, Fig. 11.1' dan uyarlanmıştır).

KÜÇÜKÇEKMECE GÖL HAVZASI (BATHONEA ?) KAZILARI ANTİK ÇAĞ SU TEMİN TÜNELLERİ



Res. 31: Troya tüneli planı (Korfmann vd. 2006: 337, Fig. 1).



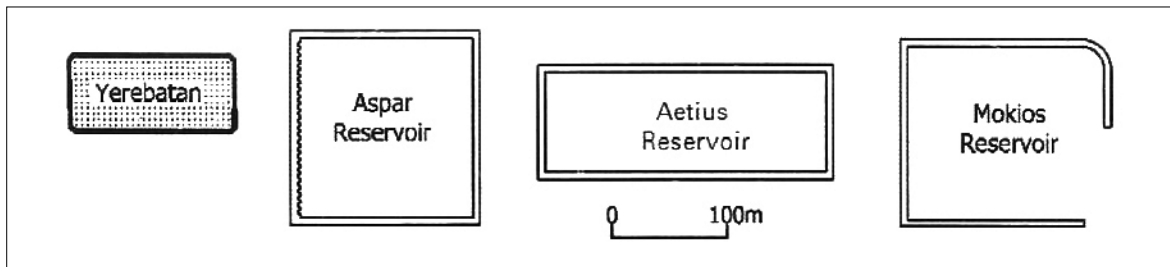
Res. 32a: Troya tüneli (Korfmann 2002: 23, Fig. 21).



Res. 32b: Troya tüneli (Korfmann vd. 2006: 340, Fig. 5).



Res. 33: Aspar açık sarnıcı (Crow vd. 2008: 130, Fig. 6.2).



Res. 34: İstanbul sarnıçları ölçekli karşılaştırma (Crow vd. 2008: 215 Fig. 9.1'den uyarlanmıştır).