ARKEOLOJİDE UZAKTAN ALGILAMA VE CBS ENTEGRASYONU

[1]Derya Maktav, [2]James Crow, [1]Celal Kolay, [1]Beyhan Yeğen, [1]Bihrat Önöz, [1]Filiz Sunar, [1]Gonca Coşkun, [1]Haluk Karadoğan, [1]Murat Çakan, [3]İrfan Akar, [1]Cihan Uysal, [1]Dolunay Güçlüer, [1]Başak Geze, [1]Gizem İnce

[1]İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
[2]Edinburgh University, Edinburgh, İskoçya
[3]Marmara Üniversitesi, Ortadoğu Araştırmaları Enstitüsü, İstanbul

ÖZET

İstanbul kenti, imparator Konstantin tarafından MS 324 tarihinde eski Bizans'ın bulunduğu yerde Constantinople adıyla kurulmuştur. Her ne kadar günümüzde Bizans kentinden bazı kalıntılar mevcutsa da çoğu kaybolmuş veya toprak altında kalmıştır. Örneğin, günümüze kadar gelebilmiş, Ortaçağ'a ait önemli Bizans anıt eserlerinden biri Bozdoğan Kemeri'dir. Bu kemer, MS 357'de başlayan ve MS 373'de kemerinin inşasının bitimiyle tamamlanan çok daha büyük bir hidrolik sistemin (250 km) bileşenlerinden sadece bir tanesidir. Ayrıca, Trakya'daki doğal su kaynaklarından İstanbul'a su sağlayan büyük ve kompleks bir sistemin en belirgin elemanı olup bir mühendislik harikasıdır. Mevcut bilgilere bakıldığında, eski Bizans kentinin su kemerlerinin Roma İmparatorluğu'ndakilere oranla çok daha az araştırılmış olduğu anlaşılmaktadır. Su ikmal sisteminin (SİS) bulunduğu bölgede daha önce bazı arkeolojik yüzey araştırmaları yapılmıştır. Ancak, yapılan sadece bu yersel yüzey çalışmaları ile sistemin hidrolik yapısı hakkında yeterli bilgilere ulaşılamamıştır. Bu çalışmada, daha önce yapılmış olan bölgesel arkeolojik yüzey araştırmaları da esas alınarak, uzaktan algılama teknolojisinden, coğrafi bilgi sisteminden (CBS)ve arkeolojik yüzey çalışmalarından birlikte yararlanılarak, su ikmal sisteminin arkeolojik yapısı ve tarihi araştırılarak sistemin hattının ve hidrolik yapısının daha iyi anlaşılabilmesi sağlanmıştır. Bu sisteme ait su toplama havzasının hidrolojik analizi yapılmış ve 3D olarak ortaya konulan bölgenin su toplama havzaları belirlenmiştir. Havzaların mevcut yağış kayıtlarından ve bölgenin belirlenmiş jeomorfolojik özelliklerinden yararlanılarak yüzeysel akıştan oluşan su potansiyeli hesaplanmıştır. Eski ve yeni elde edilen tüm verilerin bir CBS içinde entegre edilmesi de çalışmanın temel amaçlarından birini oluşturmuştur.

Su ikmal sisteminin bulunduğu Trakya bölgesi için hazırlanan bir CBS içinde uzaktan algılama teknolojileri entegre edilmiştir. Elde edilen veriler, arkeoloji ekibi tarafından yersel yüzey çalışmaları ile kontrol edilmiş, kayıt edilmiş ve sistemin elemanlarının daha detaylı bir biçimde anlaşılması sağlanmıştır.

Söz konusu çalışma TÜBİTAK ve British Academy tarafından desteklenen bir proje olup halen devam etmektedir.

Anahtar Sözcükler: Uzaktan algılama, coğrafi bilgi sistemi, arkeoloji, hidroloji.

ABSTRACT

INTEGRATION OF REMOTE SENSING AND GIS IN ARCHAEOLOGY

The great city of Istanbul was rebuilt on the site of old Byzantium and renamed Constantinople by the emperor Constantine in ad 324. Fragmentary relics survive from the Byzantine city, but much has been lost or lies buried beneath the later Ottoman city and modern Istanbul. One of the most monumental elements of the early medieval city survives as the Bozdoğan Bridge. Yet this bridge is only one component of a much grander hydraulic scheme, begun in ad 357, and completed with the construction of the bridge in ad 373. It remains the most conspicuous surviving element and feat of engineering in a vast and complex system which supplied the city with water from a variety of sources in Thrace. One single channel is at least 250 km, the longest water supply line known from the ancient world and it remains one of the greatest achievements of hydraulic engineering in human history. Compared with our knowledge of the aqueducts of imperial Rome, however, the aqueducts of Constantinople have been little studied. Building on the results of earlier research programmes, our collaboration aimed to investigate further the archaeology and history of the water supply of Istanbul through the application of remote sensing, GIS and hydraulic studies combined with archaeological field survey to achieve a greater understanding of the hydraulic system which would not be possible through surface surveys alone. Water collecting reservoirs in a 3D model of the study area will be determined and hydrologic analysis of water collecting reservoirs composing the water supply system will be made. Using rainfall records and geomorphological research, water potential will be calculated. In addition we will aim to provide the GIS and cartographic information necessary to ensure the proper preservation and conservation strategy for the surviving monuments of the water supply system in Thrace.

A range of remote sensing technologies is integrated in a GIS for the region of Thrace over which the city's early water supply system was collected and through which it flowed. The data are checked and recorded on the ground by the archaeological team and provide a much fuller understanding of parts of the system as yet unstudied.

This ongoing project is supported by TÜBİTAK and the British Academy.

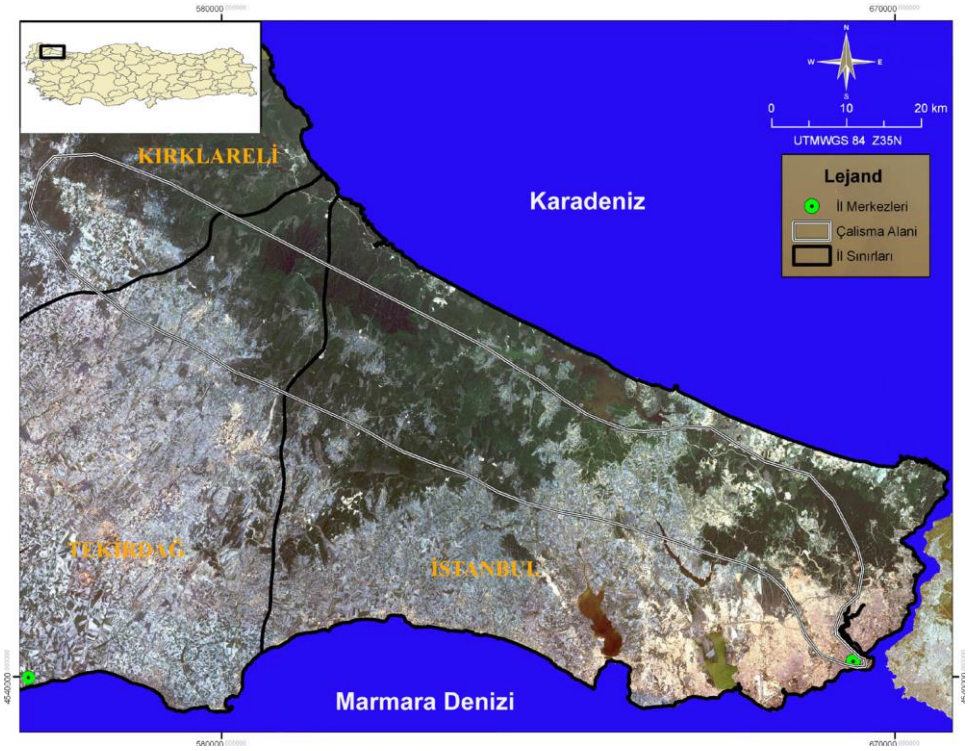
.**Keywords:** Remote sensing, geographic information system, archaeology, hydrology.

1. GİRİŞ

İstanbul kenti, imparator Konstantin tarafından MS 324 tarihinde eski Bizans'ın bulunduğu yerde kurulmuştur. Her ne kadar günümüzde Bizans kentinden bazı kalıntılar mevcutsa da çoğu kaybolmuş veya toprak altında kalmıştır. Örneğin, günümüze kadar gelebilmiş, Ortaçağ'a ait önemli Bizans anıt eserlerinden biri Bozdoğan Kemeri'dir. Bu kemer, yaklaşık olarak 250 km uzunluğunda çok daha büyük bir hidrolik sistemin bileşenlerinden sadece bir tanesidir. Ayrıca, Trakya'daki doğal su kaynaklarından İstanbul'a su sağlayan büyük ve kompleks bir sistemin en belirgin elemanıdır. Mevcut bilgilere bakıldığında, eski Bizans kentinin su kemerlerinin Roma İmparatorluğu'ndakilere oranla çok daha az araştırılmış olduğu anlaşılmaktadır. Bu çalışmanın amacı, bu su sistemin hattının belirlenmesi ve eski çalışmalardan da (Çeçen, K., 1996; Crow, J, Bardıll, J., Baylıss, R. 2008; Crow, J. 1995; Baylıss, R. And Crow, J. 2000; Bono, P., Crow, J., And Baylıss, R. 2001; Baylıss R. 2003; Romey, K. 2003; Crow J. And Baylıss R. 2004; Crow J And Baylıss R. 2005) yararlanarak sistemin hidrolik ve arkeolojik özelliklerinin ortaya konulmasıdır.

2. ÇALIŞMA ALANI

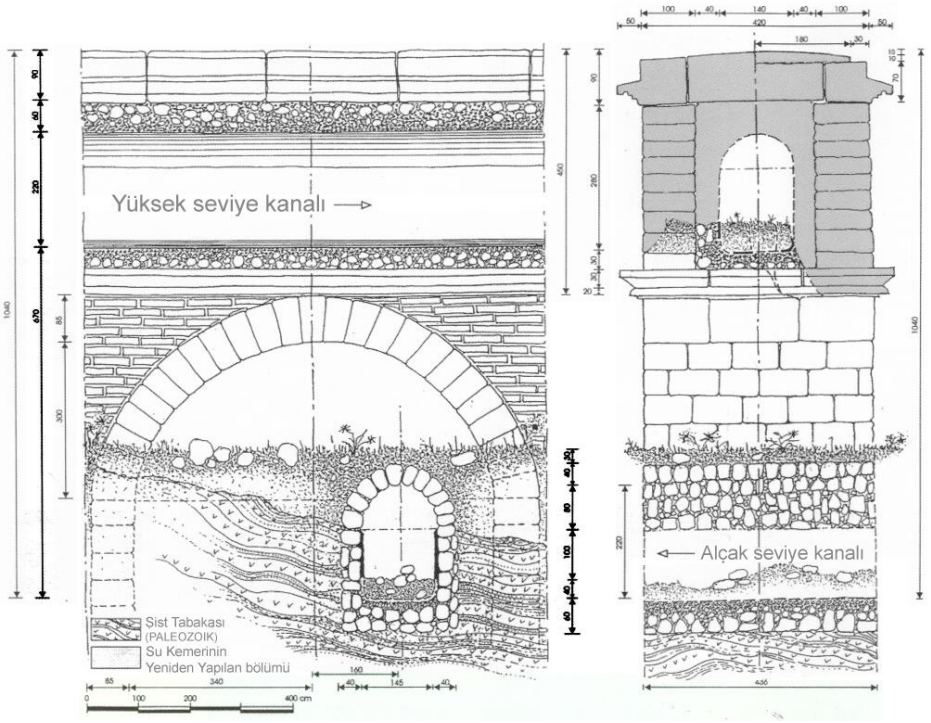
Çalışma alanı, batıda Trakya Bölgesi'nde Kırklareli'nin Vize ilçesi yakınlarında başlayıp, Tekirdağ il sınırları içinden geçerek doğuda İstanbul ilinin Avrupa yakasına kadar yayılmaktadır (Şekil 1). Arazi kullanımı olarak bölgede sık ve/veya seyrek ormanlık alanlar, tarım alanları ve kısmen de yerleşim alanları yer almaktadır. Arazi çalışmaları için genellikle ağaçların yapraklarını döktüğü sonbahar ve kış ayları en uygun aylardır. Ancak, çalışmanın yoğunluğu nedeniyle diğer aylarda da araziye gidilmiştir. Özellikle ormanlık alanlarda galeri ve kemerlerin diğer bölgelere oranla daha iyi korunduğu gözlenmiştir.



Şekil 1: Çalışma alanı

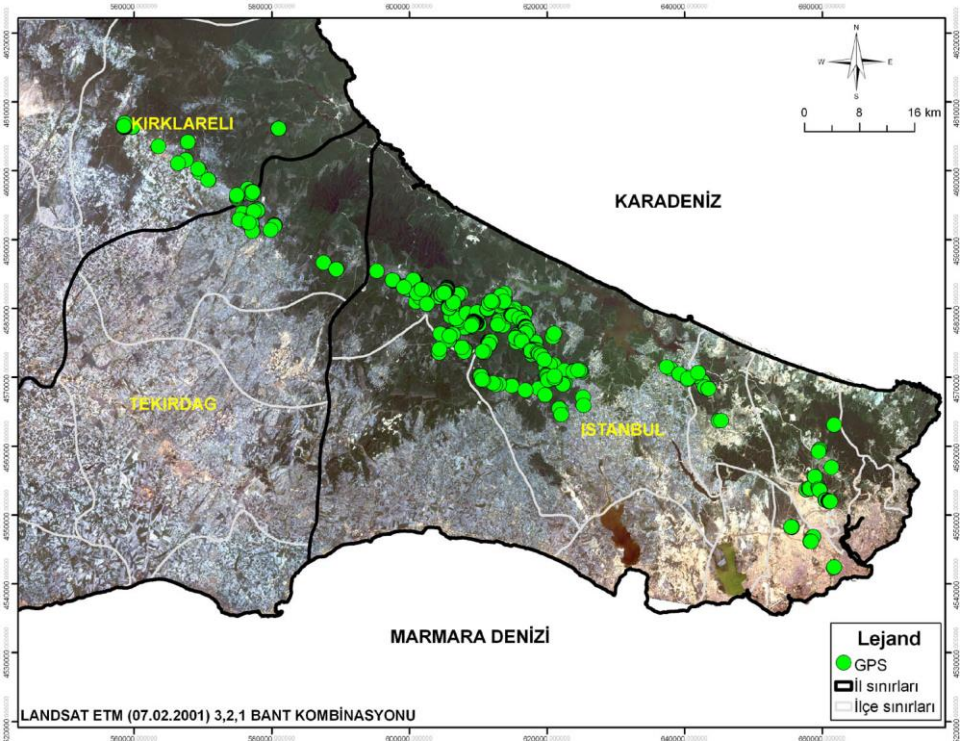
3. METODOLOJİ

Yüzey arkeolojisi: Çalışmada yüzey arkeolojisi olarak, su ikmal sisteminin çeşitli elemanlarının detay alımları yapılmıştır. Özellikle galeri (kanal) ve kemerlerin çeşitli kesitlerinin detaylı ölçümleri yapılarak, bunların sistemin yapısı üzerindeki etkileri araştırılmıştır, ki özellikle çift kanal sistemlerinin (alçak ve düşük seviyedeki kanallar) belirlenmesinde bu ölçü değerlerinin bilinmesi önemlidir. Ayrıca, eserlerde kullanılan malzemelerin (örneğin horasan çimento gibi) incelenmesi ile de sistemin tarihi ve mühendislik yapısı araştırılmıştır (Şekil 2).



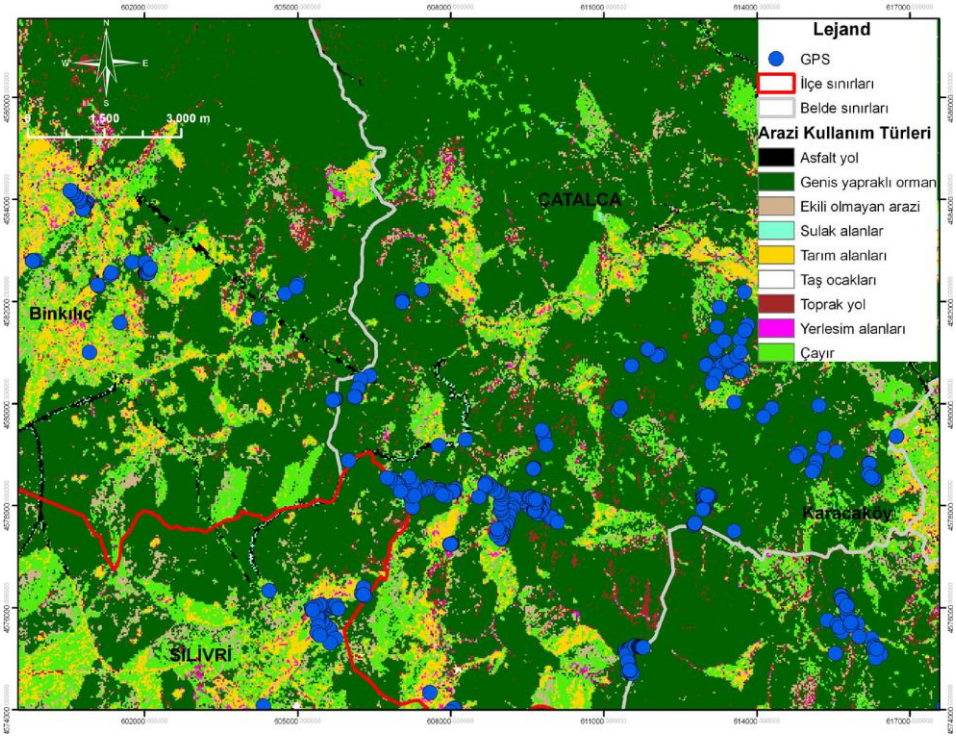
Şekil 2: Sistemin arkeolojik ölçümleri

GPS ölçümleri: Çalışmada GPS ölçümleri Trimble GPS-GeoXT ile yapılmıştır. Yapılan ölçümlerle sistemin hattı belirlenmeye çalışılmıştır. Gerek galerilerin, gerekse kemerlerin bir bölümünün sık orman içinde yer alması ve bu nedenle uydu ile bağlantı kurmada zaman zaman zorluklar yaşanmasına rağmen, henüz devam etmekte olan projede şu ana kadar belirli bir hat elde edilmiştir. Şekil 3, LANDSAT görüntüsü üzerinde bu hattın dağılımını göstermektedir. Şekilden de anlaşılacağı gibi, hat, Kırklareli, Tekirdağ ve İstanbul il sınırları içinde yer almakta olup kuzeybatı güney doğu yönünde yayılmaktadır..



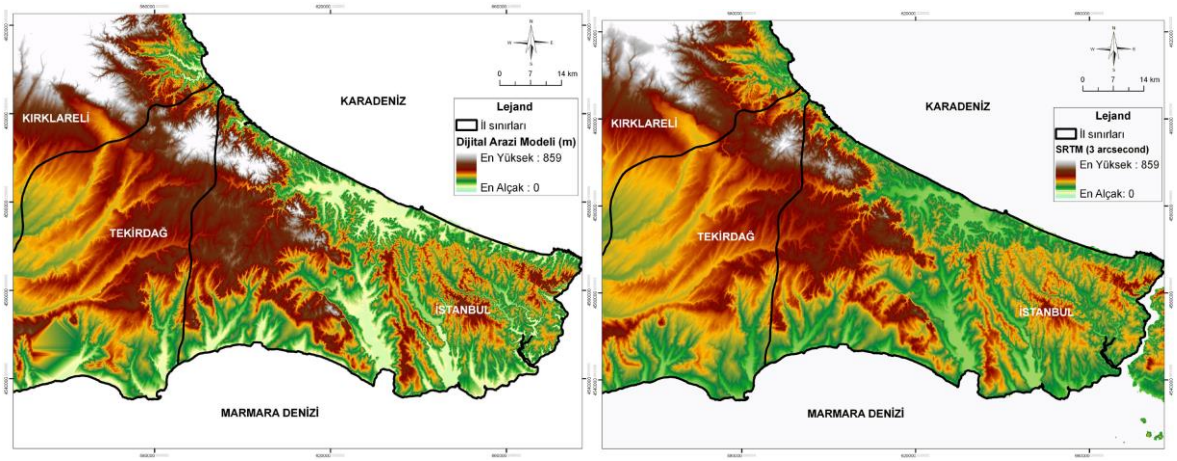
Şekil 3: Su sisteminin GPS ile ölçülen hattı (LANDSAT)

Uydu verileri: Bu çalışmada LANDSAT, SPOT, ASTER, SRTM ve IKONOS verilerinden yararlanılmıştır. LANDSAT, SPOT ve ASTER verileri, hattın geçtiği bölgenin geniş bir çevresinin özellikle arazi örtüsü/kullanımının sınıflandırılmasında kullanılmıştır (Şekil 4). Mekansal çözünürlüğü çok yüksek olmayan bu verilerin kullanımının nedeni arazi örtüsü/kullanımının spektral özelliklerinden yararlanılarak bölgenin sınıflandırılmasıdır. Şekil 4'de Çatalca-Binkılıç-Silivri-Karacaköy bölgesi için elde edilen sınıflandırma haritası görülmektedir. Buna göre, bu bölgedeki su hattının yoğun bir biçimde çayır ve geniş yapraklı orman örtüsü arasından geçtiği görülmektedir. Diğer taraftan SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) verilerinden de yararlanılarak, bölgenin dijital yüzey modeli oluşturulmuştur. Yüksek mekansal çözünürlüklü IKONOS görüntüsü üzerine GPS ile ölçülen hat taşınmıştır. IKONOS verilerinin nesne tabanlı sınıflandırması ise halen sürmektedir.



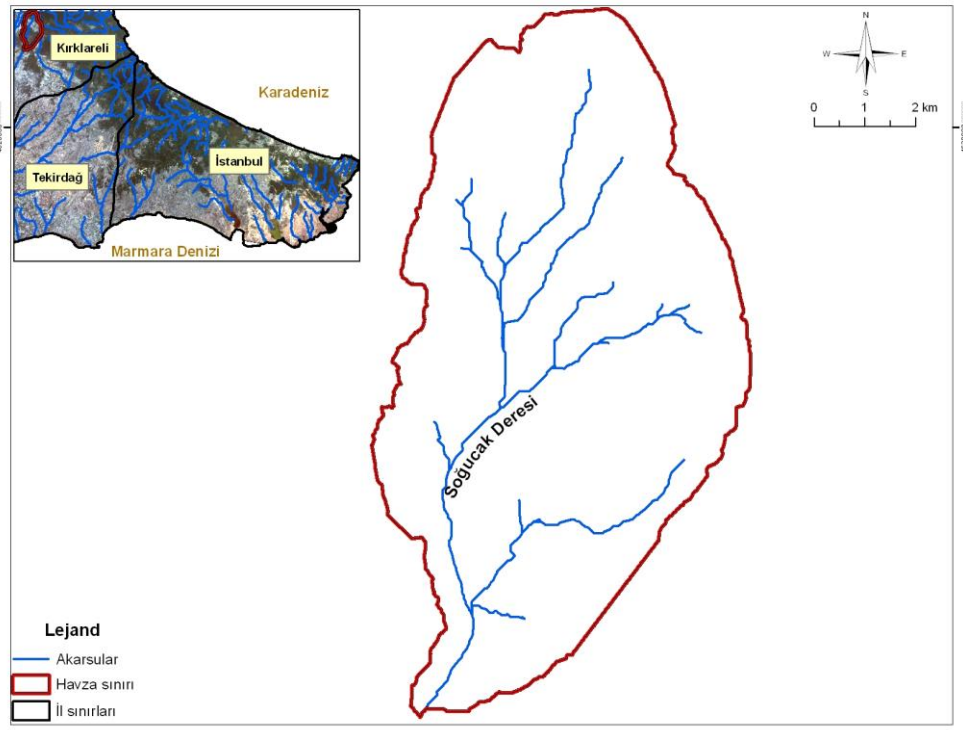
Şekil 4: Çalışma alanının sınıflandırılmış görüntüsü (LANDSAT)

Dijital yüzey modeli: Bölgenin dijital yüzey modeli, SRTM verilerinden de oluşturulmuş, ancak doğruluğunun daha yüksek olması nedeniyle 1/25000 ölçekli dijital yüzey modelleri çalışmaya esas oluşturmuştur (Şekil 5). Bu modeller üzerine bindirilen çeşitli uydu görüntüleri, su hattının belirlenmesinde, görselleştirilmesinde ve yorumlanmasında kullanılan en önemli araçlardan biri olmuştur.



Şekil 5: a) Dijital yüzey modeli b) Dijital yükseklik modeli (SRTM)

Hidroloji: Sistemin yapısında herhangi bir pompa sistemi bulunmadığından, sistemin çalışabilirliğinin anlaşılabilmesi için arazi topoğrafyasının bilinmesi büyük önem taşımaktadır, zira sistemin yapısının temelini topoğrafik eğim oluşturmaktadır.



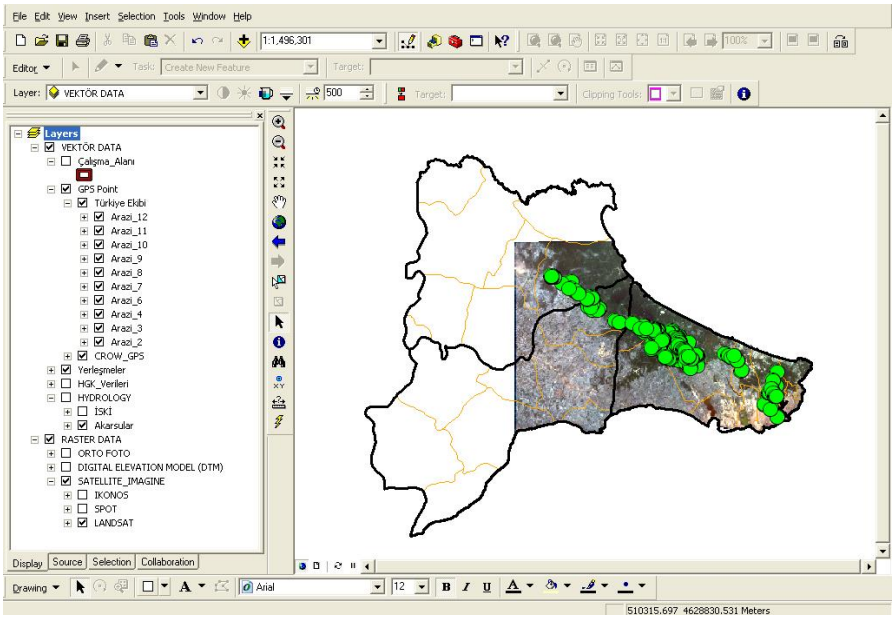
Şekil 6: Su sistemine su sağlayan kaynaklardan Soğucak Deresi havzası

Roma Su İkmal Sistemine hidrolik ve hidrolojik perspektiften bakıldığında sisteme hangi kaynaklardan ve ne miktar su alındığının belirlenmesi önemlidir. Öncelikle de hattın Vize-Pınarhisar'daki başlangıcı civarındaki kaynaklar üzerinde durulmuştur. Başlangıç bölgesi pek çok kaynağı/pınarı barındırması nedeniyle yeraltı suyu bakımından zengindir. Ancak sistemin gerek doğrudan yeraltı suyundan, gerekse doğrudan dere akımından beslenebilmesi topoğrafik yapının elvermesi ile mümkün olacaktır.

Sistemin başlangıcında su katkısı yapmış olan en önemli kaynağın Soğucak Deresi olduğu düşünülmektedir. Bu derenin havza sınırları Şekil 6'da görülmektedir. Bir derenin biriktirmesiz olarak sisteme yapacağı katkı ancak dönüş aralıkları ile ifade edilen yağışlara dayalı olarak belirlenebilir. Zira böyle bir katkı yıldan yıla değişeceği gibi bir yıl içinde de değişecektir. Soğucak Deresi için de Snyder Sentetik Birim Hidrograf metodu kullanılarak aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Dönüş aralığı iki ve on yıl olan yağışların oluşturacağı debiler sırasıyla 77 m^3/s ve 143 m^3/s olarak hesaplanmıştır. Bu değerler yukarıda yapılan hidrolik hesaplarla birlikte irdelendiğinde aşağıdaki tespitler yapılabilir. G1 kesitinde (hattın başı) genişlik=60 cm, derinlik=60 cm ve tam dolu akış kabulu ile yapılan debi hesabında Q=0.61 m^3/s, 2/3 dolulukta 40 cm su derinliği için Q=0.40 m^3/s, 1/3 dolulukta su derinliği 20 cm için Q=0.13 m^3/s olarak bulunmuştur. Uzun yıllar ortalamaları ile karşılaştırıldığında Soğucak Deresi'nden alınan suyun, kabul edilen galeri boyutlarında rahatlıkla akıtılabildiği görülmektedir. Eylül ayınındaki en düşük değerinde bile suyun galeride 1/3 doluluğu sağladığı tespit edilmiştir.

CBS oluşturma: Projenin en önemli bölümünü oluşturmaktadır. Yapılan çalışmada CBS'nin yapısı hazırlanmıştır. Buna göre katmanlar; uydu görüntüleri, sınıflandırılmış uydu görüntüleri, dijital yüzey/arazi modeli, GPS ölçüm değerleri, hidrolik değerler ve yüzey arkeolojisi sonuçları ile arazide çekilen dijital fotoğraflardan oluşmaktadır (Şekil 7). Sistem içinde bu verilerin öznitelik bilgileri oluşturulmuştur. Oluşturulan sistem dahilinde sorgulama, raporlama gibi uygulamalar yapılabilmektedir. Arazi çalışmalarında çekilen dijital fotoğraflar belirli bir düzen içerisinde numaralandırılmış ve GPS noktalarıyla ilişklendirilmiştir. Sistem içerisinde fotoğraflara hyperlink verilerek GPS noktaları ile olan bağlantıları sağlanmıştır.



Şekil 7: Sistemin CBS yapısı

4. SONUÇLAR

Eski Roma SİS'nin bulunduğu Trakya'da daha önce bazı arkeolojik yüzey araştırmaları yapılmış, ancak sistemin tam olarak belirlenebilmesi için yeni teknolojilere gerek duyulmuştur. Nitekim bu çalışmada da, daha önceki arkeolojik yüzey araştırmaları da esas alınarak, uzaktan algılama teknolojisinden, CBS'nden ve arkeolojik yüzey çalışmalarından birlikte yararlanılarak, eski Roma SİS'nin arkeolojik yapısı ve tarihi araştırılarak sistemin hidrolik yapısının daha iyi anlaşılabilmesi sağlanmıştır. Eski ve yeni elde edilen tüm verilerin bir CBS içinde entegre edilmesi de çalışmanın temel amaçlarından birini oluşturmuştur. Eski Roma SİS'nin bulunduğu Trakya Bölgesi için hazırlanan bir CBS içinde uzaktan algılama teknolojileri entegre edilmiştir. Elde edilen veriler, arkeoloji ekibi tarafından yersel yüzey çalışmaları ile kontrol edilmiş, kayıt edilmiş ve sistemin elemanlarının daha detaylı bir biçimde anlaşılması sağlanmıştır.

Halen devam etmekte olan ve nihai sonuçların 2009 yılında elde edilmesi planlanan bu projeyi destekleyen TÜBİTAK ve British Academy'ye teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

CROW, J.; BARDILL.; J. BAYLISS, R. (2008) ,The Water Supply of Byzantine Constantinople, Society for the Promotion of Roman Studies, *Journal of Roman Studies* Monograph No. II, 2008.

CROW, J. (1995), *The Long Walls of Thrace*, in C. Mango & G. Dagron (1995) *Constantinople and Its Hinterland*, SPBS 3.Aldershot:109-124.

BAYLISS, R.; CROW, J. (2000), *The Fortifications and Water Supply Systems of Constantinople*, *Antiquity* 74, 25-6.

BONO, P.; CROW, J.; BAYLISS, R. (2001) The Water Supply of Constantinople: archaeology and hydrogeology of an early medieval city, *Environmental Geology* 40 (11/12), 1325-33.

BAYLISS R. (2003), *Archaeological survey and visualisation: the view from Byzantium, in L. Lavan and W. Bowden (edd) Theory and Practice in late Antique Archaeology*. Leiden: 288-313.

ROMEY, K. (2003), Lifeline for Byzantium, *Archaeology* 56, 24-31.

CROW J.; BAYLISS R. (2004), Reflections on the water supply of Byzantine Istanbul", in *International Byzantine and Ottoman Symposium*, 550th Anniversary of Istanbul University 2003 ed S. Atasoy, 225-244.

CROW J.; BAYLISS R. (2005), *Water for the Queen of Cities: a review of recent research in the Byzantine and early Ottoman water supply of Constantinople*, *Basilissa* 1 (2005) 28-49.

ÇEÇEN, K. (1996), *The longest Roman Water Supply System*, TSKB.