

Kanal İstanbul'un Marmara ve Boğazlar sistemi ile İstanbul'un su kaynaklarına etkileri

Prof. Dr. İzzet Öztürk



İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) İnşaat Fakültesinden 1976 yılında mezun oldu. Aynı yerde çevre mühendisliği doktorasını tamamladı (1982). İTÜ'de çevre mühendisliği profesörlüğü kadrosuna atandı. Bir dönem TÜBİTAK KAMAG GYK, TÜBA Konseyi ve TÜBİTAK Bilim Kurulu üyelikleri de yapan Öztürk, 2015-2021 döneminde İSKİ Yönetim Kurulu üyeliği görevinde bulunmuştur. Türkiye Bilimler Akademisi (TÜBA) şeref üyesi olan Öztürk'ün su ve atık su arıtımı, bütünlük su havzaları yönetimi, bütünlük katı atık yönetimi ve iklim değişiminin su kaynaklarına etkileri alanlarında uluslararası düzeyde uzmanlığı bulunmaktadır.

İstanbul Boğazı'ndan güncel verilerle bir yılda geçiş yapan gemi sayısı ~50 bin civarında olup; bu sayı, emniyetli geçiş sayısı olan 25 bin/yıl eşiğinin iki katıdır. Günümüzden 30 yıl sonra 70 bin/yıl'ın üzerine çıkacağı tahmin edilen trafik yoğunluklarında bugünkünden çok daha ciddi sorunlar yaşanması öngörülmektedir. Gemi trafiğinin yoğunlaşması ile Boğaz'dan geçiş yapacak gemilerin Boğaz girişlerinde 15 saate varan sürelerde beklemeleri gerekmekte ve Boğaz'daki seyir güvenliği olumsuz yönde etkilenmektedir. Büyük ekonomik kayıplara yol açabilecek söz konusu uzun bekleme sürelerinin önlenmesi, seyir güvenliğinin artırılması ile çevre ve halk sağlığı risklerinin azaltılması amacıyla İstanbul Boğazı'na paralel ikinci bir su yolu (Kanal İstanbul) yapımı projesi ülkemiz için hayati derecede önem taşıyan öncelikli bir "milli yatırım" olarak öne çıkmaktadır. Ulaştırma ve Altyapı Yatırımları Genel Müdürlüğü ile Karayolları Genel Müdürlüğü Koordinatörlüğünde yürütülen Kanal İstanbul Projesi güzergâh alternatifleri araştırması çalışmaları sonucunda, incelenen 5 alternatif arasından, başta teknik ve ekonomik yapılabirlik ile navigasyon güvenliği olmak üzere çok sayıda parametrenin dikkate alınmasıyla "Küçükçekmece – Sazlıbosna – Durusu (Terkos'un Doğusu) Koridoru (4 no'lu

seçenek)" uygun güzergâh olarak belirlenmiştir (Şekil 1).

Kanal İstanbul (K.İ.) için belirlenen 4 no'lu güzergâhın Marmara Denizi ve Türk Boğazlar sisteminin hidrodinamik yapısı ve su kalitesine muhtemel etkileri ile Terkos Gölü ve güzergâh üzerindeki akiferlerle etkileşim, kıyı boyu sediment taşınımı vb. hususların bütün boyutlarıyla kapsamlı olarak incelenmesini sağlamak üzere, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü ile İTÜ Rektörlüğü arasında özel bir protokol düzenlenmiştir. Bu makalede, anılan protokol kapsamında

ve sonrasında yürütülen çalışmalarda elde edilen bulgular özetlenmektedir.

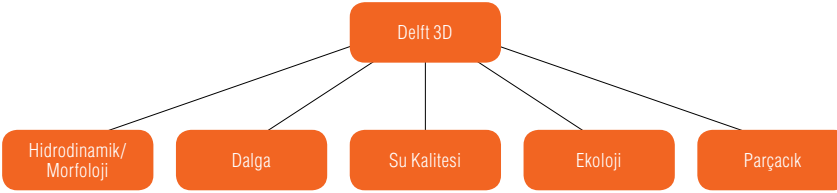
Kanal İstanbul Projesi Kapsamında Yürütülen Çalışmalar

Kanal İstanbul Projesi ile ilgili olarak hidrodinamik, hidrolik, su kalitesi, kıyı boyu sediment taşınımı ve yeraltısuyu modellemesi olmak üzere 5 iş paketi altında yürütülen çalışmalardan ikisi aşağıda özetlenmiştir.

Hidrodinamik modelleme çalışmaları: Bu iş paketinin amacı, Kanal İstanbul'un yapımı durumunda Mar-



Şekil 1: Kanal İstanbul güzergâh alternatifleri
(Kaynak: www.kanalistanbul.gov.tr)



Şekil 2: Delft3D yazılımı alt modülleri

mara Denizi ve İstanbul Boğazı'nın hidrodinamik yapısında ortaya çıkması muhtemel değişikliklerin ve alınması gereken çevresel önlemlerin belirlenmesidir. Bu kapsamda aşağıdaki hususların araştırılması öngörülmüştür:

- Marmara Denizi ve Türk Boğazlar sisteminin, mevcut su bütçesi ve iki tabakalı akım koşulları dikkate alınarak nümerik bir model ile ortaya konulması,
- Kanal İstanbul'un yapımı dolayısıyla, özellikle İstanbul Boğazı'nın hidrodinamik yapısında gözlenebilecek muhtemel değişimlerin, Kanal İstanbul'un hidrodinamik durumu ile belirlenmesi.

Bu maksatla, her iki senaryo için geniş alanlı hesap ağı ve uzun dönemli değişimler araştırılmıştır. Karadeniz, Marmara ve Ege Denizi'nin büyük bir bölümünü içerisine alan geniş kapsamlı bir hidrodinamik hesap ağı üretilerek mevcut durum ve Kanal İstanbul sonrası senaryolar için 15 yıllık (2000-2015

dönemi) bir zaman sürecinde hidrodinamik modelleme yapılmıştır. Çalışmada, 6 aylık proje süresi boyunca, her iki senaryo için toplamda 30 yıl süreli modellemeye dayalı simülasyonlar gerçekleştirilmiştir.

Kanal İstanbul Projesi Hidrodinamik modelleme çalışmalarında 3 boyutlu modelleme imkânı sunan Delft3D yazılımı kullanılmıştır. Delft 3D yazılımı, Hollanda Deltares firması tarafından geliştirilmiş olan, birçok çalışma disiplinini ilgilendiren kıyı ve nehir çalışma alanlarında, akıntı, dalga, sediment taşınımı, su kalitesi, morfolojik değişimler ve ekolojik durum gibi araştırma konularında kullanılabilen bir yazılımdır. Delft3D, yoğunluk ifadesindeki sıcaklık ve tuzluluk parametrelerini zaman, mekân ve derinlik ile değişen şekilde kullanma imkânı sağlamakta olup zamanla değişen gelgit ve meteorolojik koşulları da göz önüne alarak, 3 boyutlu hidrodinamik modelleme yöntemlerinin uygulamasını mümkün kılan en

ÇED Raporu'nda taahhüt edilen önlemler alındığı takdirde, Kanal İstanbul Projesi'nin ortaya atılan mesnetsiz ve sübjektif iddiaların aksine; Marmara ve Türk Boğazlar sistemi ile İstanbul'un Su Kaynakları ve Doğal Çevre üzerinde tolere edilemeyecek ve yönetilemez düzeyde hemen hiçbir olumsuz etkisinin olmayacağı görülmektedir.

gelişmiş yazılımlardan biridir. Yazılıma ait alt modüller Şekil 2'deki gibi özetlenebilir.

Yeraltı suyu modellemesi çalışmaları: Bu iş paketinde, Terkos Gölü civarında kanalın geçtiği güzergâh yakınlarında, yeraltı suyu akımı modellemesi ile gölden kanala veya kanaldan göle doğru muhtemel sızma durumlarının

belirlenmesi amaçlanmaktadır. Çalışmada, Terkos Gölü ve Kanal İstanbul arasında meydana gelebilecek farklı sızma senaryoları modellenmiştir. Bu senaryolar, oluşabilecek en riskli durumlar göz önünde bulundurulmak üzere başlıca 4 temel senaryo altında değerlendirilmiştir. Bu senaryoları şöyle sıralayabiliriz:

- Gölün maksimum su seviyesinde bulunduğu ve kanalın boş olması durumunda meydana gelebilecek muhtemel sızmalar (Kİ'un inşaat safhası),
- Gölde su seviyesi minimum iken kandan ve/veya Karadeniz'den göle doğru oluşabilecek sızmalar,
- Gölde su seviyesinin ortalama işletme seviyesinde ve kanalın boş (inşaat sırasında) veya dolu olması durumunda meydana gelebilecek sızmalar,
- Kanalın dolu olduğu durumda güzergâh boyunca mevcut olan akiferlere etkisi

Kİ güzergahındaki yerüstü suyu kaynaklarının projeden etkilenme durumu ile ilgili tespit ve değerlendirmeler de

ayrıca sunulmaktadır. Bölgedeki sızmaların modellenmesinde 5 farklı yöntem kullanılmıştır. Bunların ilki su bütçesi yöntemi, ikincisi analitik yöntem, üçüncüsü iki boyutlu sonlu farklar yöntemi, dördüncüsü iki boyutlu sonlu elemanlar yöntemi (SEEP/W) ve beşincisi üç boyutlu sonlu farklar yöntemleridir (MODFLOW). Ayrıca proje alanında, Terkos Gölü ve Kİ arasındaki seviye ve yoğunluk farkı dolayısıyla deniz suyu - tatlısu girişi de analitik yaklaşım ve MODFLOW modeli kapsamında incelenmiştir.

Kanal İstanbul'un Marmara ve Türk Boğazlar sistemine etkileri: Hidrodinamik modelleme çalışmasının yöntemi, adımları, çalışılan senaryolar ve elde edilen bulgular aşağıda özetle verilmiştir.

Kullanılan veriler: Deniz bilimleri alanında gerçekleştirilen modelleme çalışmalarında, modelleme alanı ve model amacına göre değişim gösteren oşinografik, hidrografik, meteorolojik ve hidrolojik girdi verileri kullanılmaktadır.

Bu çalışma kapsamında model yapılandırma aşamasında kullanılan veri tipleri ve verilerin temin edildiği kaynaklar Tablo 1'de verilmiştir.

Kalibrasyon ve senaryo bazlı çıktıların elde edilmesi: Modelleme çalışmaları genel olarak; modelleme yöntemi seçimi, veri analizi, model yapılandırması, kalibrasyon, doğrulama ve tahmin adımlarını içermektedir. Bu çalışmada, Türk Boğazlar Sistemi'nin akış yapısının en uygun şekilde simülasyonunun gerçekleştirilebilmesi için sıcaklık ve tuzluluk parametrelerini içeren, zamana bağlı 3 Boyutlu Hidrodinamik Modelleme yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada izlenen adımlar Şekil 3'te verilen akış şemasında özetlenmiştir. Delft 3D HD Modelleme Çalışması İTÜ Ulusal Yüksek Başarımlı Hesap Merkezi (UHeM)'nde yürütülmüştür.

Mevcut Durum Senaryosu Modelleme Sonuçları

Bu çalışmada, mevcut Boğazlar sistemi için 2010-2018 yıllarını içeren 9 yıllık bir zaman periyodunda komşu denizler arası akış hacimleri elde edilmiştir. Elde edilen yıllık ortalama akımlar her iki boğaz için alt ve üst akım olarak Tablo 2'de verilmiştir. İstanbul Boğazı Karadeniz ve Marmara girişlerinde uzun dönem yıllık ortalama akış hacimleri üst/alt tabaka akımları sırasıyla 13347/6559 ve 13748/6982 m³/s olarak elde edilmiştir. Çanakkale Boğazı Marmara ve Ege Denizi girişlerinde uzun dönem yıllık ortalama akış hacimleri üst/alt akımlar için sırasıyla 24185/17498 ve 30654/23969 m³/s olarak tahmin edilmiştir.

Kanal İstanbul Sonrası Durumla İlgili HD Modelleme Çalışmaları

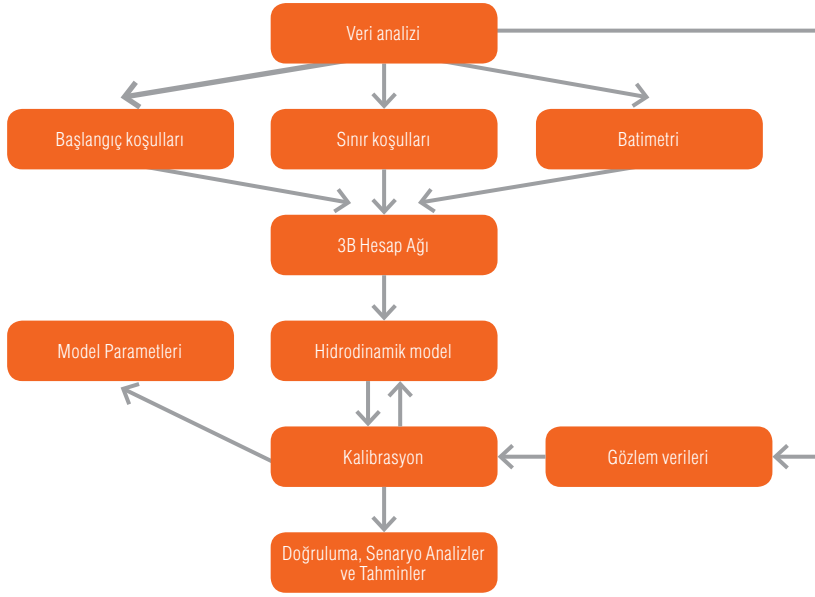
Mevcut sistem modeli üzerine, yapıyı planlanan Kanal İstanbul projesi 2 farklı kesit tipi için dahil edilerek 2010-2018 yıllarını içeren 9 yıllık bir zaman periyodunda yeniden çalıştırılmıştır. Senaryolarda kullanılan ilk kanal kesiti 275m genişlik ve 21m derinlikte, 2. kanal kesiti 300m genişlik ve 25m derinliktedir. Mevcut sistemde olduğu gibi kanallı durum için gerçekleştirilen simülasyonlar sonucunda denizler arası geçiş akım hacimleri elde edilmiştir. Mevcut durum ve kanallı durum senaryoları için uzun dönem yıllık ortalama akımlar ile Kİ'nin boğazlardaki debi ge-

Tablo 1: Kullanılan veriler

Veriler	Temin edilen kaynak
Batimetri	Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı
Tuzluluk değerleri	Copernicus Marine
Sıcaklık değerleri	Copernicus Marine
Su seviyesi verileri	Copernicus Climate
Rüzgar	ECMWF Era-Interim
Hava basıncı	ECMWF Era-Interim
Hava sıcaklığı	ECMWF Era-Interim
Bağıl nem	ECMWF Era-Interim
Bulutluluk oranı	ECMWF Era-Interim
Yağış	Uluslararası literatürde yer alan veriler
Buharlaşma	Uluslararası literatürde yer alan veriler
Nehir debileri	Global runoff data center, Copernicus EFAS

Tablo 2: İstanbul Boğazı ve Çanakkale Boğazı yıllık ortalama akım değerleri (m³/s)

Yıllar	İstanbul Kuzey Üst	İstanbul Kuzey Alt	İstanbul Güney Üst	İstanbul Güney Alt	Çanakkale Kuzey Üst	Çanakkale Kuzey Alt	Çanakkale Güney Üst	Çanakkale Güney Alt
2010	13951	6977	14323	7388	24442	17520	30014	23082
2011	14659	5795	15356	6504	27037	18217	34919	26107
2012	11731	8077	11711	8086	22728	19185	28982	25447
2013	13402	6273	13894	6787	23555	16579	29615	22636
2014	13945	5776	14463	6300	22707	14480	29287	21057
2015	13243	6683	13622	7079	24957	18627	31918	25593
2016	13425	6385	13803	6791	24345	17444	29803	22903
2017	11773	7312	11901	7463	22309	18004	28432	24130
2018	13993	5756	14663	6443	25588	17429	32913	24762
Ort	13347	6559	13748	6982	24185	17498	30654	23969



Şekil 3: Çalışmanın akış şeması

Tablo 3: Mevcut durum ve kanallı senaryolarda yıllık ortalama akımlar (m³/s)

	İstanbul Boğazı		Kanal		KD-MD arası toplam geçiş		Çanakkale Boğazı	
	Üst	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt
Mevcut Durum	13347	6559	-	-	13347	6559	24185	17498
Kanal 1 (275x21)	11497	7875	3452	251	14949	8126	24552	17830
Kanal 2 (300x25)	10934	8218	4642	518	15577	8736	24730	17991

Tablo 4: Kanallı geçiş akımları üzerine etkisi

	İstanbul Boğazı		KD-MD arası toplam geçiş		Çanakkale Boğazı	
	Üst	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt
Kanal 1 (275x21)	-14%	20%	12%	24%	2%	2%
Kanal 2 (300x25)	-18%	25%	17%	33%	2%	3%

çişleri üzerine etkileri Tablo 3 ve Tablo 4'te verilmiştir.

Model çıktıları incelendiğinde kanalın İstanbul Boğazı yıllık üst akım hacmini azaltırken, alt akım hacmini artırdığı görülmüştür. Kanal 1 ve Kanal 2 senaryolarında İstanbul Boğazı'nın yıllık üst akım hacmi sırasıyla %14 ve %18 oranlarında azalırken, alt akım hacminde sırasıyla %20 ve %25 oranlarında artış meydana gelmiştir. Karadeniz ve Marmara Denizi arasında toplam su geçişi ise her iki yönde de artmıştır. Kanal 1 ve Kanal 2 senaryolarında Karadeniz'den Marmara Denizi'ne geçen yıllık ortalama akım hacmi sırasıyla %12 ve %17 oranlarında artarken, Marmara'dan Karadeniz'e geçen yıllık ortalama akım hacmi de sırasıyla %24 ve %33 oranlarında artmıştır.

Birinci kanal senaryosu (275x21m) için elde edilen yıllık ortalama su se-

viyeleri ve tuzluluk sonuçları kanalsız senaryo çıktıları ile alansal olarak karşılaştırılarak, kanal sonrasında mevcut sistemin yıllık ortalama değerlerindeki değişim elde edilmiştir. Bulunan sonuçlar kanal sonrasında İstanbul Boğazı Karadeniz girişinde su seviyesini yıllık ortalama 5 cm düşeceğini göstermektedir. Kanal sonrasında Marmara Denizi genelinde su seviyelerinde genel olarak 1 cm artış görülmüştür. Çanakkale Boğazı - Ege Denizi çıkışında ise su seviyelerinde bir değişim görülmüştür.

Kanalın yıllık yüzey tuzluluğu üzerine etkileri Şekil 4'te verilmiştir. Tuzluluk değerlerinde, kanal çıkışında yaklaşık 2 ppt, kuzey kıyılar boyunca ve Çanakkale Boğazı'nda yaklaşık 1 ppt, Marmara Denizi genelinde ise yaklaşık 0,5 ppt'lik bir azalma görülmüştür. Marmara Denizi'nde 25 m'den daha derinde ise tuzlulukta önemli bir değişim görülmüştür.

Kanal İstanbul'un Marmara Denizi Alt Tabakası Çözünmüş Oksijen Bütçesine Etkileri

Üst tabaka: Mevcut durumda Marmara Denizi'nin ~230 km³ hacimli üst tabakası (-25 m piknoklin ortası üstü) gerek fotosentez gerekse Karadeniz'den beslenme sebebiyle daima yüksek seviyede ÇO içermektedir. KI sonrası üst tabakaya Karadeniz suyuyla ÇO girişi daha da artacağı için, KI'nın, kısmi/sınırlı oranda birincil üretimi artışı hariç, ÇO bütçesini olumsuz yönde etkilemesi söz konusu değildir.

Alt tabaka: Marmara Denizi'nin ÇO bakımından asıl sorunlu kısmı, özellikle -40 m altındaki yüksek tuzluluk oranına sahip Akdeniz suyu içeren alt/dip kesimidir. Marmara Denizi dip kesimi morfolojik ve oşinografik olarak Karadeniz ile benzerlik göstermekte olup tarihsel süreçteki ÇO seviyesi < 2 mg/L düzeyindedir. Son yıllarda Çınarcık (Kuzey) Çukuru üzerindeki 45-C no'lu istasyonda yapılan ölçümlerde, özellikle -100 m'den daha derinlerde ÇO seviyesinin < 1 mg/L (min.0,5 mg/L)'ye düştüğü görülmektedir. Bu yüzden Marmara Denizi alt tabakası oksijen bütçesinin dikkatlice izlenmesi gerekmektedir:

Kanal İstanbul öncesi ve sonrası, Marmara Denizi alt tabakası çözünmüş oksijen bütçesi değişimi ile ilgili olarak Öztürk (2021)'de detaylı verilen hesaplamalar sonunda;

KI sonrası, Marmara Denizi alt tabakasındaki ilave ÇO ihtiyacının (veya tüketiminin);

$$0,22-0,20 = 0,02 \text{ (~\%2)}$$

0,31-0,28 = 0,03 (%3) maks. oranında artması beklenmektedir.

Kanal İstanbul'un Su Kaynaklarına Etkileri

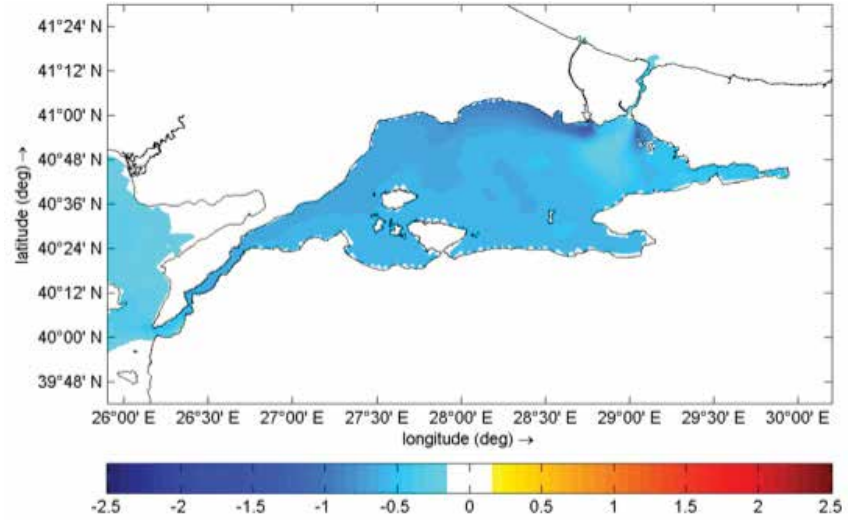
Kanal İstanbul ile Terkos Gölü Etkileşimi: Bu çalışmada İSKİ ve KGM'den sağlanan verilerle Terkos Gölü ile Kanal İstanbul arasındaki etkileşim (sızmalar) çeşitli metotlar yardımıyla incelenmiştir. Ayrıca Kanal İstanbul tarafındaki kesimden Göle doğru tuzlu su girişimi (ilerlemesi) durumu ile Halkalı civarındaki Bakırköy akiferine muhtemel etkiler de değerlendirilmiştir.

Kanal İstanbul'un Yapımı Öncesi Dönemdeki Sızmalar: Mevcut durumda (kanal inşaatı yapılmadan önce) su bütçesi metoduna göre, İSKİ'den elde edilen 13 yıllık (Ekim 2002-Ekim 2015) veriler kullanılarak, Terkos Gölü'nden dışarı doğru en büyük sızma miktarı ~5,5 milyon m³/yıl olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte herhangi bir yıl dikkate alındığında gölden dışarıya doğru sızmaların ortalama 3 milyon m³/ yıl civarında kalacağı öngörülmektedir.

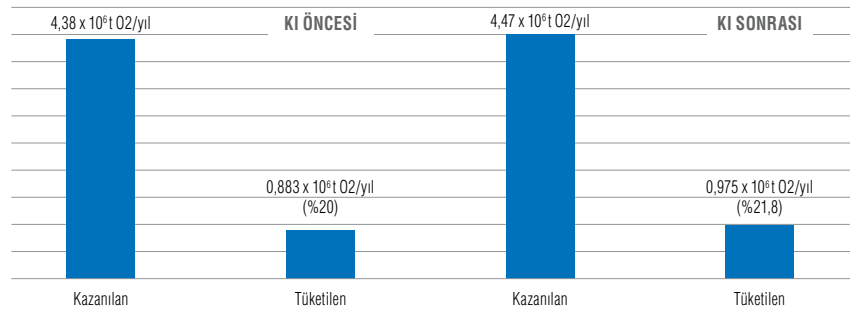
Kanal İstanbul'un Yapım Dönemindeki Sızmalar: Kanalın inşaatı sırasında (kanal boş iken) ortalama hidrolik iletkenlik katsayısı $k_{ort}=1,53 \times 10^{-5}$ m/s için çeşitli metotlarla hesaplanan en küçük sızma değeri analitik metotla 657.850 m³/yıl, en büyük değer ise SEEP/W modelinden ~2.756.800 m³/yıl olarak bulunmuştur. Ayrıca kanalın yapımı sırasında maksimum hidrolik iletkenlik katsayısı $k_{mak} = 3,055 \times 10^{-5}$ m/s için çeşitli metotlarla hesaplanan en küçük sızma değeri analitik metotla ~1.310.000 m³/ yıl, en büyük değer ise SEEP/W modelinden 5.495.570 m³/yıl olarak hesaplanmıştır. Terkos Gölü'nden kanala doğru, kanalın inşaatı sırasında (kanal boş iken) göl su seviyesinin bir yıl boyunca maksimum seviyede ve hidrolik iletkenlik katsayısının en büyük değerinde olması durumunda sızabilecek muhtemel en büyük su miktarı ~5,5 milyon m³/yıl olarak hesaplanmıştır.

Kanal İstanbul'un İşletme Dönemindeki Sızmalar: Kanalın işletimi sırasında (kanal su ile dolu iken) $k_{ort}=1,53 \times 10^{-5}$ m/s için çeşitli metotlarla hesaplanan sızma değeri ~201.000 - 421.000 m³/ yıl arasında bulunmuştur. En küçük değer analitik metot, en büyük (k_{mak}) değer ise SEEP/W modelinden elde edilmiştir. Ayrıca kanalın işletimi sırasında $k_{mak}=3,05 \times 10^{-5}$ m/s için çeşitli metotlarla hesaplanan sızma değeri 401.000 - 840.000 m³/yıl arasında bulunmuştur. En küçük değer analitik metot, en büyük değer ise SEEP/W modelinden elde edilmiştir. Terkos Gölü'nden kanala doğru, kanalın işletme döneminde (kanal dolu iken) göl su seviyesinin bir yıl boyunca maksimum seviyede (4,50 m) ve hidrolik iletkenlik katsayısının en büyük olması durumunda sızabilecek muhtemel en büyük su miktarı yaklaşık 0,84 milyon m³/yıl olarak hesaplanmıştır.

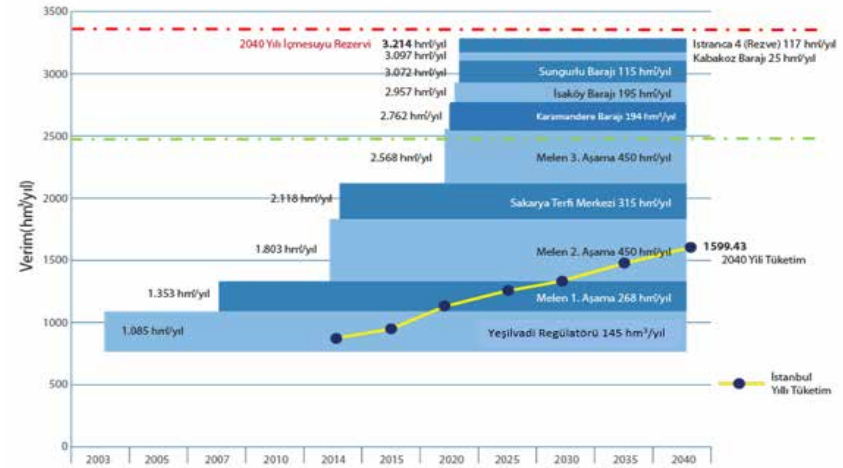
Kanal İstanbul'dan Terkos Gölü'ne Doğru Sızmalar: Göl su seviyesinin



Şekil 4: Kanalın Boğazlar sistemi yıllık yüzey tuzluluğuna etkisi (ppt) (Sacu, vd., 2020)



Şekil 5: KI Dolayısıyla Marmara Denizi alt tabakasında beklenen ÇO tüketimi değişimi
*KI Sonrası – KI Öncesi = %1,8-2,1 (~ort %2)



Şekil 6: İSKİ'nin İstanbul için Öngördüğü Su Arz-Talep Projeksiyonu (IMC, 1999)

deniz su seviyesinden düşük olduğu durumlarda kanaldan göle doğru ters yönde bir sızma oluşabilecektir. Bu konuyla ilgili hesaplamalarda son 15 yılda gözlenmiş göl su seviyesi verileri incelenerek -0,20 m değeri esas alınmıştır. KI'un işletme döneminde Terkos Gölü'nün kanal su seviyesinden düşük olduğu durumlarda, göle doğru sızma miktarı $k_{ort}=1,53 \times 10^{-5}$ m/s için en düşük 5.425 m³/yıl ve en yüksek 8.120 m³/yıl olarak hesaplanmıştır. $k_{mak}=3,05 \times 10^{-5}$ m/s için ise en düşük 10.810 m³/yıl ve en yüksek 16.200 m³/yıl olarak bulunmuş-

tur. Kanal İstanbul'dan Terkos Gölü'ne doğru kanalın işletme döneminde (kanal dolu iken) göl su seviyesinin bir yıl boyunca minimum seviyede (-0,20 m) ve hidrolik iletkenlik katsayısının en büyük olması durumunda sızabilecek muhtemel en büyük su miktarı 16.200 m³/yıl olarak hesaplanmıştır. Göl su seviyesinin -1 ve -2 m olması durumu son 15 yıldaki ölçümlerde tespit edilmiştir. Ancak daha önceki yıllarda uzun süreli kuraklıklarda su seviyesinin -2 m'ye kadar düştüğü gözlemlenmiştir. Bundan dolayı kanalın dolu olması

halinde göl su seviyesinin -1 ve -2 m olması durumları için de ayrıca modellemeler yapılmıştır. Bu durumundaki en büyük sızma değeri 218.870 m³/yıl olarak hesaplanmıştır. İstisnai ve olması istenmeyen (mümkün olmayan) bir durum olarak Terkos Gölü'nün tamamen kuruması durumu (-5,50 m kotu) da tetkik edilip oluşabilecek en büyük sızma miktarı -590.000 m³/yıl olarak elde edilmiştir. Bu değerler sadece kanaldan göle doğru olması beklenen sızmalardır. Karadeniz'den göle doğru oluşabilecek sızmalar bu çalışmada göz önünde bulundurulmamıştır. Özetle, Kanal İstanbul'un yapım (kanalın boş olması) ve işletme (kanalın deniz suyu ile dolu olması) durumlarında Terkos Gölü'nden kanala olması beklenen sızma miktarlarının sırası ile; 1,6-2,7 milyon m³/yıl (Terkos gölü yıllık su veriminin yaklaşık yüzde 1,1-1,9'u) ve 0,15-0,30 milyon m³/yıl (Terkos gölü yıllık su veriminin yaklaşık binde 1-2'si) olarak öngörülmektedir. Bu sonuçlar 3 farklı modelleme/hesap yönteminin (Analitik Yöntem, Seep/W modellemesi, Modflow modellemesi) birlikte değerlendirilmesiyle elde edilmiştir.

Kanal İstanbul'dan Terkos Gölü'ne Doğru Tuzlu Su Girişimi:

- +4,50 m su seviyesinde, kanaldan göle yatay mesafenin 1.275 m olduğu esas alınmakla, Ghyben-Herzberg yöntemi tatlı/tuzlu su arakesiti için 249,75 m derinlik verirken, Glover metodu ile 105,69 m elde edilmiştir.

- +0,50 m göl su seviyesi (kotu) için göle olan yatay mesafe $X=1.275 \text{ m}$ olduğunda Ghyben-Herzberg metodu ile 27,75 m ve Glover metodu ile ise 34,57 m arakesit derinlikleri bulunmuştur.

- Her iki metotla bulunan sonuçlara göre göl su seviyesi +0,50 m iken tuzlu su arakesit yüzeyi Terkos Gölü'ne kadar ulaşabilmektedir.

- Tuzlu su girişimi incelemeleri, Terkos Gölü'nün +0,50 m'den daha yüksek su kotlarında işletilmesinin, Kanal İstanbul ve Karadeniz kaynaklı tuzlu su girişimi açısından önem taşıdığını göstermektedir.

Kanal İstanbul'un Bakırköy Akiferi ile İlişkisi: Kanal İstanbul güzergahı Küçükçekmece ve Sazlıdere Barajı arasındaki kısımda, Bakırköy akiferini

kesmektedir. Yoğun endüstriyel çekimlerle statik rezervi büyük oranda boşaltılmış durumdaki Bakırköy akiferini tuzlanmaya karşı korumak üzere, projede bu kesimde Kanal İstanbul enkesitinde sızdırmazlık tedbirleri alınması öngörülmüştür. *Dolayısıyla, Kanal İstanbul Projesi sebebiyle Bakırköy akiferinde tuzlanmayı önleyici mühendislik tedbirlerinin alınması sağlanarak, İstanbul'un sınırlı yeraltısuyu rezervinin korunması emniyete alınmıştır.*

Sazlıdere Barajı'nın Kaybı ve Yenişehir'in İstanbul'un Su Temin Sistemine Etkileri:

Kanal İstanbul Projesi'nin İstanbul'un Su Temin Sistemi üzerindeki en olumsuz etkisi yıllık 55 milyon m³ su verimi olan Sazlıdere Barajı'nın kaybedilmesi ile Kanal İstanbul güzergâhında kurulacak 500 bin nüfuslu yeni bir şehrin su ihtiyacının karşılanmasıdır. Sazlıdere Barajı, İstanbul'un mevcut geliştirilmiş yıllık su rezervi olan ~2,6 milyar m³lük kapasitenin $55/2600 \approx \%2,1$ 'ine karşı gelmektedir. Sazlıdere Barajı, İstanbul Avrupa Yakası için önemli ve değerli bir su kaynağı olmakla birlikte, barajın devre dışı kalması İstanbul'un su temin sisteminde telafi edilemeyecek boyutta bir su açığı oluşturmamaktadır. Zira İstanbul'un 2040 yılı su ihtiyacı ~1,6 milyar m³ olup gelecekteki rezerv ihtiyaç oranı $2,6/1,6 = 1,625$ 'tir. Ayrıca İstanbul'a yakın civardaki yeni kaynakların geliştirilmesi ile 2040 sonrası muhtemel su rezervinin 3,2 milyar m³/yıl'a çıkması mümkündür (Şekil 6).

Yeni şehir dolayısıyla ihtiyaç duyulacak azami brüt su ihtiyacının $0,200 \text{ m}^3/\text{N.gün} \times 500.000 = 100.000 \text{ m}^3/\text{gün}$ civarında olması beklenir. Söz konusu su ihtiyacı ileri düzeyde arıtılmış atıksuların ~%30'unun mor şebeke üzerinden tuvalet sifon suyu olarak yeniden kullanımı ile ~70.000 m³/gün'e düşürülebilir. Atık su miktarı da, arıtılmış suların asgari %10'u yeşil alan sulamasında kullanılmak suretiyle, 60.000 m³/gün'e indirilebilir. Buna göre yeni şehrin İstanbul su temin sistemine net etkisi, $70.000 \times 365 \approx 26$ milyon m³ olacaktır. *Dolayısıyla Sazlıdere Barajı ile yeni şehrin İstanbul'un mevcut geliştirilmiş su rezervine etkisi, $(55+26)/2600 \approx \%3,1$ civarında olacaktır. Hükümetimiz, söz konusu su rezervi azalması etkisini gidermek üzere, İstanbul'un Avrupa Yakası'na ~200 milyon m³'ün üzerinde yeni depolamalı tesis yapımını planlamış bulunmaktadır.*

Sonuç

Kanal İstanbul, İstanbul Boğazı'nın seyir güvenliğini sağlamak, çevre ve halk sağlığı bakımından maruz kalınan riskleri en aza indirmek üzere geliştirilen, İstanbul Boğazı'na paralel alternatif bir su yoludur. Kanal ile planlanan diğer bileşenlerin oluşturduğu bu büyük proje demetinin, yap-işlet-devret modeli ile ~12 yılda kendisini finanse edeceği öngörülmektedir. İstanbul Boğazı'na göre seyir emniyeti bakımından 13 kat daha güvenli olan Kanal İstanbul ile yıllık gemi trafiği ~25.000 ile sınırlandırılarak, çok büyük ölçüde yabancı transit gemi kullanımına terk edilmiş ve kendi öz denizcilik faaliyetleri kısıtlanmış durumdaki İstanbul Boğazı'nın azami oranda İstanbullulara bırakılması sağlanacaktır. Önceki bölümlerde güncel somut verilere dayalı olarak açıklandığı üzere, ÇED Raporu'nda tahhüt edilen önlemler alındığı takdirde, Kanal İstanbul Projesi'nin ortaya atılan mesnetsiz ve subjektif iddiaların aksine; Marmara ve Türk Boğazlar sistemi ile İstanbul'un Su Kaynakları ve Doğal Çevre üzerinde tolere edilemeyecek ve yönetilemez düzeyde hemen hiçbir olumsuz etkisinin olmayacağı görülmektedir.

Kaynaklar

- Ahmed, K.A., Altunkaynak, A. (2019). *Modeling Groundwater Flow And Seawater Intrusion in the Terkos Lake Aquifer due to Canal Istanbul Excavation*, *Arabian Journal of Geosciences* (2020) 13:10, <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4983-y>
- Çiçekalan, B., Öztürk, İ. (2018). *Tuna'nın Marmara Denizi Üzerindeki Hidrolik ve Organik Yük Baskıları, III. Marmara Denizi Sempozyumu Bildirileri ve Çalıştay Raporları*, 72-91.
- Erdik, T., Şen, O., Duricic Erdik, J., Ozturk, I. (2017). *Long Term 3D Hydrodynamic Modelling and Water Surface Statistics in Marmara Sea*, <https://doi.org/10.1080/01490419.2017.1362082>
- <https://www.kanalistanbul.gov.tr/tr/hazirlik-sureci/alternatif-guzergah/>, (Erişim Tarihi: 15.07.2021).
- KNI (2018). *Kanal İstanbul Projesi Yeraltı Suyu Modeli Nihai Raporu*.
- Öztürk, İ. (2021). *Bilimsel Veriler Işığında Marmara Denizi ve Türk Boğazlar sistemi Güncel 3D Hidrodinamik Modelleme, Su Bütçesi, İklim Değişimi ve Kanal İstanbul Etkileri* (basılacak)
- Öztürk, İ. Erdik, T., Özger, M., Altunkaynak, A., Karpuzcu, M.E. (2016). *Kanal İstanbul'un Marmara ve Boğazlar sisteminin Hidrodinamiği ile Su Kalitesine Etkilerinin Belirlenmesi Projesi, Nihai Rapor, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı*.
- Sacu, S., Erdik, T., Stanev, E. M., Sen, O., Erdik, J. D., Ozturk, I. (2020). *Hydrodynamics of Canal Istanbul and its Impact in the Northern Sea of Marmara Under Extreme Conditions*, *Ocean Dynamics*, 70(6), pp. 745-758 <https://doi.org/10.1007/s10236-020-01358-4>
- Sen, O. Sacu, S., Erdik, T., Stanev, E.V., Ozturk, I. (2020). *Assessing the Potential Impacts of the Canal Istanbul on the Physical Oceanography of the Turkish Straits System* (Under Review)