

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KANAL İSTANBUL'DA DEBİ AZALTICI YÖNTEMLERİN BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Fatih SAVCI

Kıyı Bilimleri ve Mühendisliği Anabilim Dalı

HAZİRAN 2020

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KANAL İSTANBULDA DEBİ AZALTICI YÖNTEMLERİN BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Mehmet Fatih SAVCI
(517081008)**

Kıyı Bilimleri ve Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Tarkan ERDİK

HAZİRAN 2020

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 517081008 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Mehmet Fatih SAVCI, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “KANAL İSTANBULDA DEBİ AZALTICI YÖNTEMLERİN BELİRLENMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Tarkan ERDİK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Mehmet Sedat KABDAŞLI**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Yasin ABDOLLAHZADEHMORADİ.....
İstanbul Gelişim Üniversitesi

Teslim Tarihi : 15 Haziran 2020
Savunma Tarihi : 30 Haziran 2020





Aileme,



ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimi boyunca tecrübe ve fikirleriyle bana yol gösteren ve her zaman desteğini benden esirgemeyen çok kıymetli danışman hocam sayın Doç. Dr. Tarkan ERDİK'e şükranlarımı sunarım.

Hayatımın her anında hep yanımda olan, sevgilerini benden esirgemeyen ve başladığım yolda tüm var gücü ile beni destekleyen, sevgi ve fedakârlık simgesi olan annem Dr. Süheyla SAVCI ve babam Prof. Dr. Mehmet Emin SAVCI'ya en içten ve sonsuz teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunarım. Ayrıca desteklerinden ötürü ağabeyim Öğr. Görevlisi Murat Muhammet SAVCI'ya teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2020

Mehmet Fatih SAVCI
(İnşaat Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı.....	1
1.2 Literatür Araştırması.....	2
2. ÇALIŞMA ALANI VE KULLANILAN VERİLER	7
2.1 Çalışma Alanı	7
2.2 Kullanılan Veriler	7
2.2.1 Kıyı sınırları	7
2.2.2 Batimetri	8
2.2.3 Kanal Geometrisi.....	8
2.2.4 Meteorolojik veriler.....	9
2.2.5 Su seviyesi verileri	10
2.2.6 Sıcaklık ve tuzluluk verileri	11
3. YÖNTEM.....	13
3.1 Model Yapılandırma Aşaması	15
3.1.1 Hesap ağı	15
3.1.2 Başlangıç koşulları	17
3.1.3 Sınır koşulları	17
3.1.4 Ocak ayı su seviyesi değişimi	17
3.2 Kalibrasyon.....	18
4. UYGULAMALAR	19
4.1 Kanal İçerisindeki Debi Değişimleri	20
4.2 Kanal İçerisinde Hız Değişimleri	23
4.3 Kanal İçerisinde Tuzluluk Değişimleri.....	25
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	29
KAYNAKLAR.....	31
ÖZGEÇMİŞ.....	35



KISALTMALAR

ECMWF	: European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
DHI	: Danish Hydraulic Institute
SHODB	: Seyir, Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı
HYCOM	: Hybrid Coordinate Ocean Model
ADCIRC	: Advanced Circulation
OEJV	: Omerli and Elmalı Environmental Protection Project



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Düşey tabaka kalınlıkları	16
Çizelge 3.2 : Model parametreleri.....	18
Çizelge 4.1 : Modelleme senaryoları.....	19
Çizelge 4.2 : Kanal kesitlerinde debi değerleri	21
Çizelge 4.3 : K1 kesitinde hız değerleri (m/s).....	23
Çizelge 4.4 : K2 kesitinde hız değerleri (m/s).....	23



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Dikey hız profilleri (MD: Marmara Denizi; KD: Karadeniz, Yüksel vd., 2008).....	3
Şekil 2.1 : Çalışma alanı.....	7
Şekil 2.2 : Model batimetrisi.	8
Şekil 2.3 : Kanal projesi	9
Şekil 2.4 : Kanal kesiti.	9
Şekil 2.5 : Meteorolojik veri ağı.....	10
Şekil 2.6 : Su seviyesi ölçüm istasyonları.	10
Şekil 2.7 : Karadeniz sınırı için sıcaklık ve tuzluluk değerleri	11
Şekil 2.8 : Marmara sınırı için sıcaklık ve tuzluluk değerleri	11
Şekil 3.1 : Delft3D yazılımı modülleri.....	13
Şekil 3.2 : Akış şeması	14
Şekil 3.3 : Yatay hesap ağı.....	15
Şekil 3.4 : Kanal hesap ağı.....	16
Şekil 3.5 : Karadeniz – Marmara su seviyesi farkı (m).....	17
Şekil 4.1 : Eşik konumları.	19
Şekil 4.2 : Gözlem kesitleri.	20
Şekil 4.3 : K1 kesitinde senaryolara göre güney yönlü debi değerleri.....	21
Şekil 4.4 : K1 kesitinde senaryolara göre kuzey yönlü debi değerleri.	21
Şekil 4.5 : K2 kesitinde senaryolara göre güney yönlü debi değerleri.....	22
Şekil 4.6 : K2 kesitinde senaryolara göre kuzey yönlü debi değerleri.	22
Şekil 4.7 : Manning – Debi ilişkisi.....	22
Şekil 4.8 : S1 senaryosu için su seviyesi farkı - akıntı hızı ilişkisi	24
Şekil 4.9 : S2 senaryosu için su seviyesi farkı - akıntı hızı ilişkisi	24
Şekil 4.10 : S3 senaryosu için su seviyesi farkı - akıntı hızı ilişkisi	25
Şekil 4.11 : K1 kesiti tabanında tuzluluk değişimleri.	26
Şekil 4.12 : K1 kesiti yüzeyde tuzluluk değişimleri.....	26
Şekil 4.13 : K2 kesiti tabanında tuzluluk değişimleri.	27
Şekil 4.14 : K2 kesiti yüzeyde tuzluluk değişimleri.....	27
Şekil 4.15 : Karadeniz’in baskın olduğu durumda kanal boyunca tuzluluk.....	28
Şekil 4.16 : Marmara’nın baskın olduğu durumda kanal boyunca tuzluluk.	28



KANAL İSTANBULDA DEBİ AZALTICI YÖNTEMLERİN BELİRLENMESİ

ÖZET

Montrö Boğazlar Antlaşması 1936 yılında imzalanmıştır ve o zamanlar yıllık 3 bin gemi boğazdan geçmekteydi. Günümüzde ise yıllık yaklaşık 55 bini bulan gemi, boğazdan geçmektedir (Başaraner ve diğ. 2011). Önceki yılları dikkate alarak bu sayının yıllar geçtikçe artması beklenmektedir. Gelecek yıllardaki boğazın trafiği büyük sorunlara sebep olacağından bu yükü azaltmak için çeşitli alternatifler geliştirilmiş ve İstanbul Boğazı'na paralel yeni bir kanal açılması gündeme gelmiştir.

Kanal İstanbul tartışmalı bir proje olup, İstanbul Avrupa yakasında yapay bir kanal açmayı hedeflemektedir. Böylece, İstanbul Avrupa yakasında yapay bir ada oluşacaktır. Kanal İstanbul, İstanbul boğazını bypass edecektir.

Kanal güzergâhının yerinin belirlenmesi ile ilgili birçok inceleme yapılmıştır. Bu incelemeler arasında Küçük çekmece-Sazlıdere-Karaburun güzergâhı en uygun kanal güzergâhı olarak belirlenmiştir. Bu kanalın derinliği 25 m, genişlik 400 m ve toplam uzunluğu 43 km'dir.

Bu çalışmada, Kanal İstanbul'un İstanbul Boğazı'ndaki doğal akım dengesine etki etmemesi için 3 boyutlu sayısal modeller geliştirilerek çeşitli debi azaltıcı alternatifler sunulmuştur. Bunun için, 3-boyutlu Delft3D sayısal model kullanılmıştır. Sayısal modelde kullanmak üzere hazırlanan sayısal hesap ağı 1487 elemandan oluşmuştur.

Sayısal modelde çeşitli veri setleri kullanılmıştır. Bunlar; kıyı sınırları, Karadeniz ve Marmara Denizi batimetrisi, bu denizlerin uzun süreli su seviye değişimleri ve uzun süreli rüzgâr verisidir.

Kıyı sınırları, Seyir, Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı (SHODB) veri arşivinden, batimetri verileri ise Seyir, Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı (SHODB) veri arşivinden temin edilmiştir.

Meteorolojik büyüklükler için, Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmin Merkezi (ECMWF) arşivlerinden temin edilen, denizden itibaren 10 m yükseklikteki rüzgâr hızı bileşenleri ve hava basıncı verileri kullanılmıştır. Meteorolojik verilerin zamansal çözünürlüğü 6 saat olup, mekânsal çözünürlüğü hem enlem hem boylam yönünde 0.125 derecedir.

Açık deniz sınır koşulu için, biri İstanbul Boğazı girişi (kuzey) diğeri çıkışı (güney) olmak üzere iki adet su seviyesi sınır koşulu tanımlanmıştır. Su seviyesi sınır şartları, Eylül 2004– Ocak 2006 zaman aralığında ve 10 dk'lık ölçümlerden oluşmaktadır. Ayrıca, kuzey ve güney sınırlarında aylık sıcaklık ve tuzluluk verileri kullanılmıştır (Sur v.d.,2004).

Kanalın içerisinde farklı taban eşiği ve pürüzlülük katsayısı kullanılarak 9 farklı senaryo oluşturulmuştur. Her bir senaryo için daha önceden kalibre edilmiş sayısal model kullanılmış ve kanalın içerisindeki 2 kesitteki debi ve akım hızları değerlendirilmiştir.

Model sonuçları incelendiğinde kanaldaki akım hızı ve su seviyesi değişimi arasında güçlü bir ilişki olduğu görülmüştür. Karadeniz su seviyesinin Marmara su seviyesine göre yüksek olduğu durumda kanal boyunca tuzluluk oranlarının düşük. Marmara Denizi su seviyesinin Karadeniz'e göre daha yüksek olduğu dönemde ise Kanal içerisindeki tuzluluğun arttığı gözlemlenmiştir.

Kanal İstanbul'da aynı İstanbul Boğazı gibi iki katmanlı akış olduğu gözlenmiştir. Buna ek olarak hakim akım yönü Karadeniz'den Marmara Denizi'ne doğrudur.

Kanalın pürüzlülük katsayısı eşit olan senaryolarda çok yakın sonuçlar elde edilmiştir. Genel olarak kanalın pürüzlülük katsayısı, model sonuçlarını etkileyen en büyük etken olarak gözlenmiştir. Bu çalışmada pürüzlülük katsayısı 0.036 olan taş malzemenin kanalda kullanılması gerektiği belirlenmiştir.



DETERMINATION OF FLOW REDUCING METHODS IN CHANNEL ISTANBUL

SUMMARY

The Montreux Straits Treaty was signed in 1936, during which 3 thousand ships were passing through the strait annually. Today, the number of ships have been reached to 55 thousand annually (Başaraner et al. 2011). Considering the previous figures, this number is expected to increase gradually over the years. Since the traffic of the Bosphorus in the coming years will cause major problems, various alternatives have been developed to reduce this burden and the idea of a new channel has been launched in parallel with the Bosphorus Strait.

The Canal Istanbul is a controversial project for the artificial sea-level waterway, which is planned by the Republic of Turkey on the European side of Turkey, connecting the Black Sea to the Sea of Marmara. Canal Istanbul would bisect the current European side of Istanbul and thus forming an artificial island between Asia and Europe. The new waterway is expected to bypass the current Bosphorus.

Many investigations have so far been made regarding the determination of the channel route. Among these investigations, the Küçük Çekmece-Sazlıdere-Karaburun route was determined as the most appropriate one. The depth of this channel is 25 m, the width is 400 m and the total length is 43 km. Canal Istanbul project includes construction of ports (large container terminal in the Black Sea, close to the Istanbul Airport), logistic centres and artificial islands to be integrated with the canal, as well as constructing new earthquake-resistant residential areas along the channel.

In this study, various numerical modellig scenarios have been developed by using Delft 3D. Similar to the Bosphorus Strait, the new Canal mostly runs from the Black Sea to the Marmara Sea and sometimes vice versa. It is expected that Canal Istanbul does not affect the natural flow balance in the Bosphorus. However, it might have adverse impact to the Marmara Sea. Therefore, numerical model simulations of Canal Istanbul are employed together with Istanbul Strait. The main purpose of this study is to reduce the additional discharge of Canal Istanbul into Marmara Sea.

Towards this aim, the digital computing domain is setup that consists of 1487 elements. The coastal boundaries of the domain and bathymetry data are obtained from the Navigation, Hydrography and Oceanography Department (SHODB). The wind stress and air pressure data are retrieved from the European Medium Term Weather Forecasting Center (ECMWF). The temporal resolution of meteorological data is 6 hours, and its spatial resolution is 0.125 degrees in both latitude and longitude directions. The developed model is forced by water level boundary conditions at both end of the model domain which is between September 2004 - January 2006 with 10min intervals. This dataset is collected during the Marmaray Immersed Tube Railway Project. The temperature and salinity data of the hydrodynamic model at the north and south boundaries are used with monthly intervals from Sur et. al., (2004).

Similar to the Bosphorus Strait, strong correlation is observed between the flow rate in the channel and the water level difference at both end of the model domain. When the Black Sea water level is higher than the Marmara water level, it has been observed that the salinity rates are low along the channel. In the period when the Marmara Sea water level is higher than the Black Sea, the salinity in the Canal is increased.

Within the channel, nine different scenarios of various sills and manning roughness coefficients are developed and compared with each other. For each scenario, a previously calibrated numerical model is used and the flow velocities within 2 cross sections within the channel are evaluated.

It is observed that salinity in the canal is low when the Black Sea water level is higher than the Marmara Sea water level. In the period when the Marmara Sea water level is higher than the Black Sea, salinity in the Canal increases. It is observed that there is a two-layer flow in Canal Istanbul, just like the Bosphorus Strait. In addition, the dominant flow direction is from the Black Sea to the Sea of Marmara.

In general, the roughness coefficient of the channel is observed as the main factor affecting the model results. However, the sills are not found to be the influential and very close results are obtained in scenarios. In this research, it is determined that stone material with a roughness coefficient of 0.036 should be used in the channel to reduce the flow rate into the Marmara Sea through the Canal.

1. GİRİŞ

Montrö Boğazlar Antlaşması, 1936 yılında imzalanmıştır ve o zamanlar yıllık 3 bin gemi boğazdan geçmektedir. Günümüzde bu rakam 55 bini bulmuştur. Süveyş Kanalı'ndan yıllık geçen gemi sayısı yaklaşık 17 bindir (Başaraner ve diğ. 2011). Önceki yılları dikkate alarak bu sayının yıllar içerisinde artması beklenmektedir. Gelecek yıllarda Boğazın trafiğinin büyük sorunlara sebep olacağı düşünüldüğünden bu yükü azaltmak için çeşitli alternatif projeler üretilmiştir.

Bunlardan, Kanal İstanbul projesi en önemli projelerden biridir. Bu proje için çeşitli güzergâhlar incelenmiş ve hazırlanan alternatiflerden Küçük çekmece- Sazlıdere-Karaburun güzergâhı en uygun güzergâh olarak belirlenmiştir. Bu güzergâh içerisinde açılacak kanalın derinliğinin 25 m, genişliğinin 400 m ve toplam uzunluğunun ise 43 km olması beklenmektedir.

Kanal İstanbul ile karşılaşılabilecek sorunlardan en önemlilerinden biri Karadeniz'den Marmara Denizi'ne akacak ilave debilerin Marmara Denizi'nde oluşturacağı negatif etkilerdir. Bu tezde nümerik modeller geliştirilerek çeşitli alternatifler ile Kanal İstanbul'un debisinin en aza indirilmesi planlanmıştır.

1.1 Tezin Amacı

Bu çalışmada, Kanal İstanbul Projesi'nin inşa edilmesi durumunda, Marmara Denizi'ne etkisinin en aza indirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaca yönelik 3 boyutlu modelleme kapasiteye sahip Delft 3D yazılımı nümerik program olarak kullanılmıştır.

Bu tez üç aşamadan oluşmuştur. Birinci aşamada, nümerik modelde kullanılmak üzere ihtiyaç olan veriler temin edilmiştir. Bu veriler, Kanal İstanbul'un yer aldığı bölgenin batimetrisi, Karadeniz ve Marmara Denizi'nin uzun süreli su seviyesi değişimi ve model alanı içerisindeki rüzgâr verileridir. İkinci aşamada ismi geçen yazılım ile nümerik model hesap ağı oluşturulmuştur.

Son olarak kurulan numerik model üzerinde çeşitli senaryolar geliştirilmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Kanalin tabanında çeşitli eşikler ve kanal pürüzlülüğü oluşturarak toplamda 9 adet senaryo geliştirilmiştir.

1.2 Literatür Araştırması

Marmara Denizi'nin hidrodinamiği dünyadaki diğer denizlerle karşılaştırıldığında çok farklı yapıdadır (Alpar ve Yüce, 1998). Bu karmaşık yapıya, sistem içerisindeki tabakalar halinde hareket eden su kütleleri sebep olmaktadır. Karadeniz'deki tuzluluk Ege Denizi'ne kıyasla düşük olduğundan; Karadeniz'den Kuzey Ege Denizi'ne doğru tuzluluk oranı düşük bir üst su akımı oluşmaktadır. Benzer şekilde, Akdeniz'den Marmara Denizi'ne doğru da ters yönde tuzluluk oranı yüksek bir alt su akımı gözlemlenmektedir. Tuzluluk katmanlarının yanı sıra, güneş radyasyonunun etkisiyle, ısınmaya bağlı olarak mevsimsel değişiklikler gösteren sıcaklık katmanları da bulunmaktadır. Söz konusu temel sirkülasyon özellikleri, çeşitli atmosferik şartlara (rüzgârlar, basınç değişimleri, güneş radyasyonu, bulutluluk vb.), bölgedeki ana nehirlerden Karadeniz'e ulaşan ve mevsimsel farklılıklar gösteren tatlı su deşarjları (Tuna, Dnieper ve Dniester) ile daha küçük boyutlarda değişen diğer etkilerle birlikte (atmosfer basıncındaki değişiklikler, rüzgâr ve dalga gerilmeleri) değişiklikler göstermektedir. İstanbul Boğazı ile ilgili ilk çalışmalardan biri Bayazit ve Sümer (1982) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma, İstanbul Boğazı'nın hidrodinamiği ile ilgili ilk modelleme çalışmalarından biridir. Bu çalışmada, İstanbul Boğazı'ndaki iki tabakalı akım sistemi üzerinde yoğunlaşmıştır. İstanbul Boğazı'nın üst ve alt akımları tek boyutlu incelenmiş ve nümerik olarak çözülmüştür. Bu çalışma, daha çok deneme amaçlı bir çalışma olarak değerlendirilmektedir. Albek (1987) tarafından yürütülen diğer bir çalışmada, boğaz akım ve seviyelerinin şiddetli rüzgârlar altında tahmini amaçlanmıştır. Çalışmada, Marmara Denizi'nin tabakalı akımları incelenmiştir. Akıntıların rüzgâra karşı olan tepkileri değerlendirmiştir. Anılan çalışma ile birlikte bazı sadeleştirici varsayımlarla analitik çözüm de elde edilmiştir.

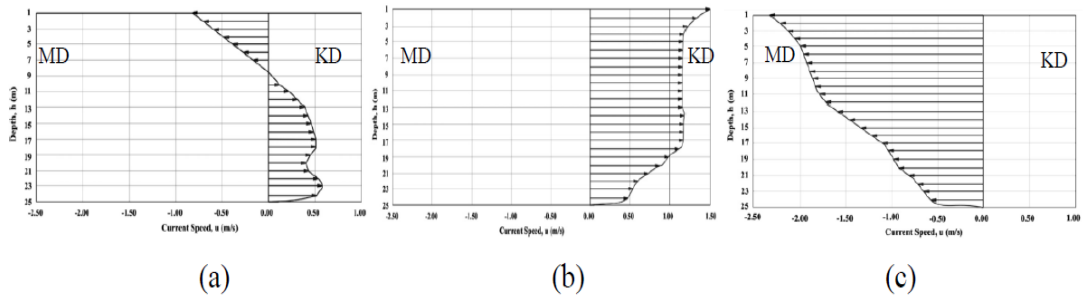
Türk Boğazlar sisteminin hidrodinamik benzeşimi konusundaki ayrıntılı incelemeler 80'li yılların sonunda başlamıştır. Oğuz ve Sur (1989) permanan iki tabakalı bir modelleme yaklaşımı kullanmış ve boğazlar üzerindeki geometrik daralmalar ile boğazlardaki taban eşiklerine ait analizlere odaklanmıştır. Özsoy vd., (1996) İstanbul Boğazı'nın kısa süreli ve mevsimsel kuvvetlere karşı gösterdiği tepkiyi ele almış ve

iki tabakalı model geliştirmiştir. Oğuz ve Sur (1989) ile Özsoy vd. (1996) nin çalışmaları Türk Boğazlar sisteminin hidrodinamiği konusundaki ilk adımları oluşturmalarına rağmen, sözkonusu bu araştırmalar da yeterli hassasiyette hidrodinamik benzeştirme mümkün olamamıştır.

Türk Boğazları yoluyla Karadeniz ve Akdeniz arasındaki uzun süreli ortalama iki tabakalı akım değişimleri ile ilgili en önemli çalışmalardan birini Beşiktepe vd., (1994) gerçekleştirmiştir. 1986-1989 yılları arasındaki 4 yıllık veri seti kullanılarak Türk Boğazlar sisteminin uzun vadeli ortalama hacimsel akımlarının su dengesi (su bütçesi) ortaya konmuştur. Peneva vd., (2001) İstanbul Boğazı'nın aylık barotropik taşınımının 1961-1997 yılları arasındaki ortalama değer etrafındaki doğal değişkenliğini incelemiştir. Anılan çalışmada, Tuna nehrinin Karadeniz sularıyla karışarak İstanbul Boğazı'nda üst tabaka olarak yayıldığı belirlenmiştir.

Sur vd., (2001) İstanbul Boğazı boyunca yer alan üç ana ölçüm istasyonunda ölçülen aylık sıcaklık ve tuzluluk değişimleri incelenmiştir. Söz konusu bu çalışma, İstanbul Boğazı ile ilgili son zamanlarda gerçekleştirilen modelleme çalışmalarına referans olmaktadır.

İstanbul Boğazı'nın hassas dengesini anlamak için hız profillerine bakmak gerekmektedir. Genel itibariyle boğaz akıntıları Şekil 1.1a'daki gibidir. Karadeniz suları üstten Marmara'ya, Akdeniz suları da alttan Karadeniz'e taşınmaktadır. Ancak, kuvvetli Güney-Güneybatı (Lodos) rüzgârları, Karadeniz sularını bloke etmektedir. Şekil 1.1b'de buna ait bir grafik sunulmuştur. Buradan görüldüğü üzere, Boğazdaki bütün akıntı Marmara Denizi'nden Karadeniz'e doğrudur. Benzer şekilde, Kuzeydoğu rüzgârları (Poyraz) da, Marmara akıntılarını bloke etmekte ve Karadeniz suları bütün kesit boyunca taşımaktadır (Şekil 1.1c).



Şekil 1.1 : Dikey hız profilleri (MD: Marmara Denizi; KD: Karadeniz, Yüksel vd., 2008)

Türk Boğazlar Sistemi ve Marmara Denizi'nin hidrodinamik modeli ile ilgili en kapsamlı çalışmalar uluslararası şirketler aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Bunlardan ilki, Ömerli Elmalı Ortak Girişimi (OEJV, 1994), diğeri ise MEMPIS Projesi (2006) dir. Bu iki çalışma, sırasıyla DHI Mike ve Delft3D modelleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

OEJV (1994) 14 gün için (14-27 Ekim 1993), İstanbul Boğazı'nın hidrodinamik modellini kurmuştur. Çalışmada iki farklı meş (hesaplama ağı) kullanılmıştır. Bunlardan birincisi Marmara Denizi'ni kapsayan büyük meş, diğeri ise sadece İstanbul boğazını kapsayan küçük meş'tir. Marmara Denizi modelinin amacı (büyük meş), boğazlar sistemine sınır şartı sağlamaktır. Marmara modeli için Yeşilköy Meteoroloji istasyonundaki değerler üniform olarak kullanılmıştır. Modele ayrıca sıcaklık ve tuzluluk değerleri sınır şartı olarak tanımlanmıştır. İstanbul Boğazı ile ilgili olan meşin (küçük meş) güney sınırı Marmara Denizi'nden gelen kuvvetler, kuzey sınırı ise sinüsoidal gelgit dalgası ile tanımlanmıştır.

Marmara denizi ve Türk Boğazlar sistemi ile ilgili diğeri önemli bir çalışma ise Marmara Denizi Havzası Çevre Master Planı çalışmasıdır (MEMPIS, 2006). Bu çalışma, AB mali desteği ile Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından gerçekleştirilmiştir. Hidrodinamik model Karadeniz, Marmara ve Ege Denizi ile birlikte 3 boyutlu geliştirilmiş ve farklı kirlilik yükleri için su kalitesi durumunun değerlendirmesi yapılmıştır

Öztürk ve Yüksel (2010) ve Öztürk vd., (2012) İstanbul boğazının hidrodinamik yapısını incelemişlerdir. Bunun için, 3 boyutlu hidrodinamik model kurmuşlardır. İstanbul boğazı 50 düşey tabakaya ayrılmış ve kalibrasyon için genetik algoritmalarından faydalanılmıştır. Yüksel vd., (2008) ise İstanbul Boğazı ile ilgili ölçümler gerçekleştirerek ve İstanbul Boğazı'nın genel hidrodinamik yapısı ile ilgili güncel tespitlerde bulunmuştur. Jarosz vd., (2011), İstanbul Boğazı'nın her iki çıkışına hızölçerler yerleştirerek, yaklaşık 6 aylık bir süre için (Eylül 2008 - Şubat 2009) akıntı hız profillerini gözlemlemiş ve debi değerlerini tahmin etmişlerdir. Altıok ve Kayışoğlu (2015), İstanbul Boğazı'nın kuzey ve güney girişlerinde elde ettikleri ölçümleri kullanarak İstanbul Boğazı'ndaki uzun dönem aylık tuzluluk ve sıcaklık dağılımları ile akış hacimlerini analiz etmişlerdir. İstanbul Boğazı üst ve alt akım yıllık ortalama akış hacimlerini güneyde sırasıyla 430 km³ ve 245 km³, kuzeyde ise 404 km³ ve 250 km³ olarak elde etmişlerdir. Blain vd., (2009), Hybrid Coordinate Ocean Model

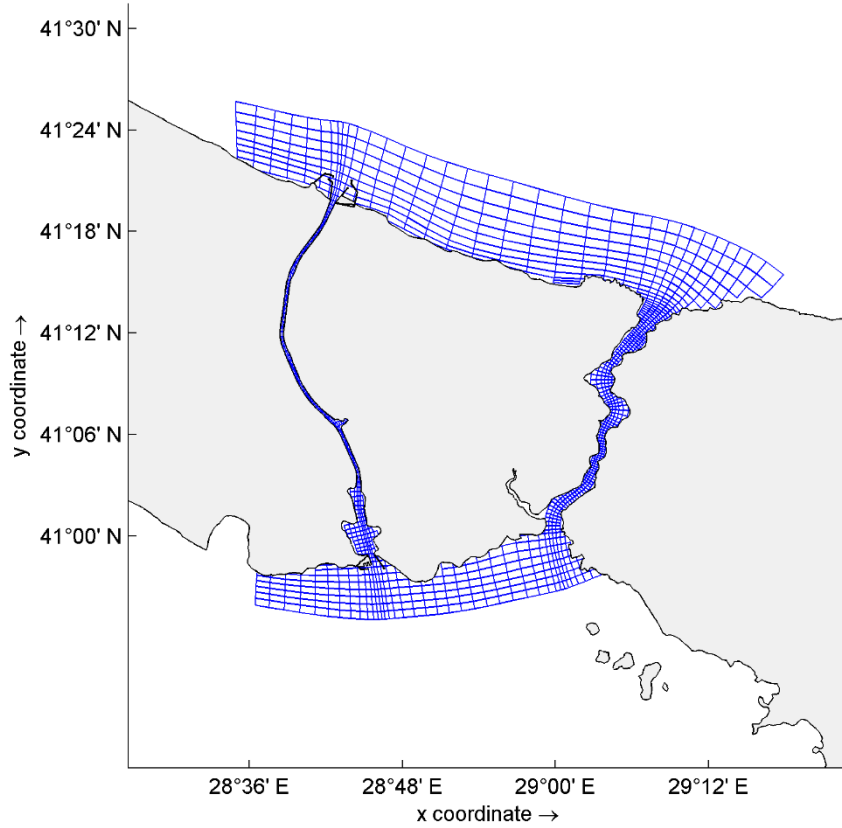
(HYCOM) ve Advanced Circulation (ADCIRC) modellerini birbirine tek yönlü birleştirerek (one-way coupling), Kuzey Ege Denizi ve Çanakkale Boğazı'nı içeren bir alanda, Çanakkale Boğazı'nın tabakalı akım yapısını ve Kuzey Ege Denizi'ne olan akışını incelemişlerdir. Erdik vd., (2019a) Haliç'in 3D hidrodinamik modelini, İstanbul Boğazı ile birlikte üretmiştir. Benzer bir çalışmada, Erdik vd., (2019b) Haliç içerisindeki akıntı tiplerini belirlemiş ve Haliç'in temizlenme süresi ile ilgili araştırmada bulunmuştur. Beji ve Erdik (2018) İstanbul Boğazı'nın hidrodinamik yapısı ile ilgili araştırmada bulunmuştur. Erdik vd., (2018) Marmara Denizi'ndeki su seviyelerini uzun dönem incelemişlerdir. Saçu vd., (2020) Kanal İstanbul'un, Marmara Denizi'nin tuzluluk yapısına etkisini incelemiştir. Şen vd., (2019) Tuna'nın debisinin İstanbul Boğazı'na etkisini belirlemeye çalışmıştır.



2. ÇALIŞMA ALANI VE KULLANILAN VERİLER

2.1 Çalışma Alanı

Bu çalışmada, hesaplama alanı olarak, Kanal İstanbul ile birlikte İstanbul Boğazı'nı kapsayan bölge modelleme alanı olarak belirlenmiştir. Açık deniz sınırları İstanbul boğazının kuzey ve güney girişlerinin açıklarına kadar uzanmaktadır. (Şekil 2.1). Çalışma alanı 40.90-41.45 Kuzey enlemleri ve 28.60-29.20 Doğu boylamları arasında yer almaktadır.



Şekil 2.1 : Çalışma alanı.

2.2 Kullanılan Veriler

2.2.1 Kıyı sınırları

Bu çalışmadaki kıyı sınırları, Seyir, Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı (SHODB) veri arşivinden temin edilmiş olup, ölçek bilgileri aşağıda verilmiştir:

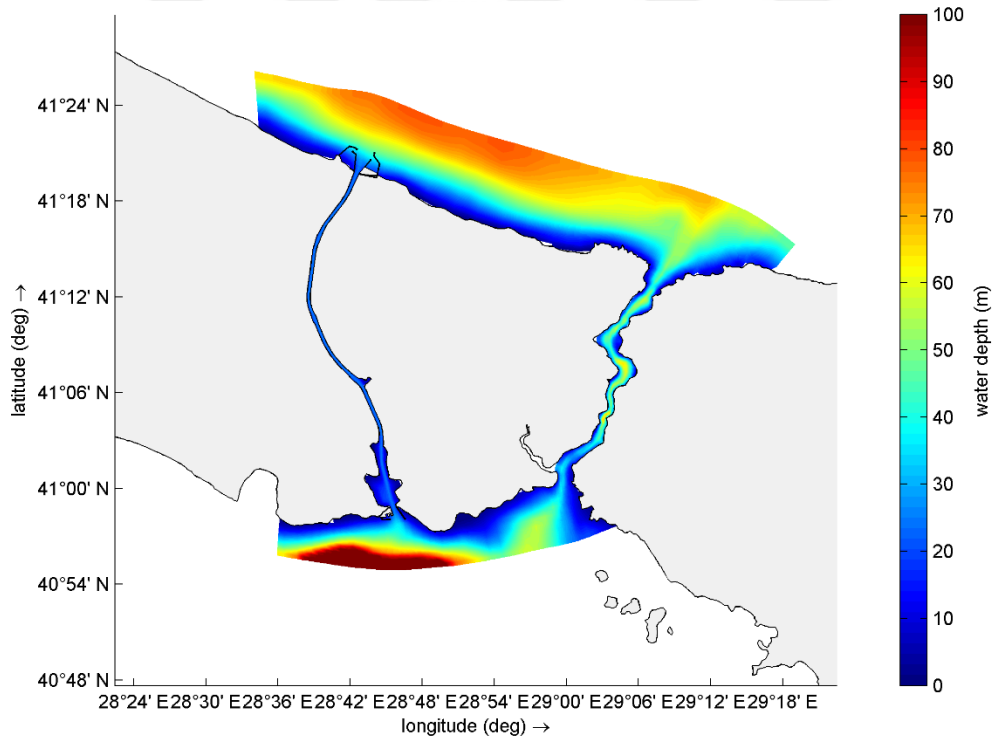
- Karadeniz: 1/750000
- İstanbul Boğazı: 1/20000
- Marmara Denizi: 1/300000

2.2.2 Batimetri

Bu çalışmadaki batimetri verileri, Seyir, Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı (SHODB) veri arşivinden temin edilmiş olup, ölçek bilgileri aşağıda verilmiştir:

- Karadeniz: 1/750000
- İstanbul Boğazı: 1/20000
- Marmara Denizi: 1/300000

Model içerisinde tanımlanan batimetrisinin görüntüsü Şekil 2.2’de verilmiştir.

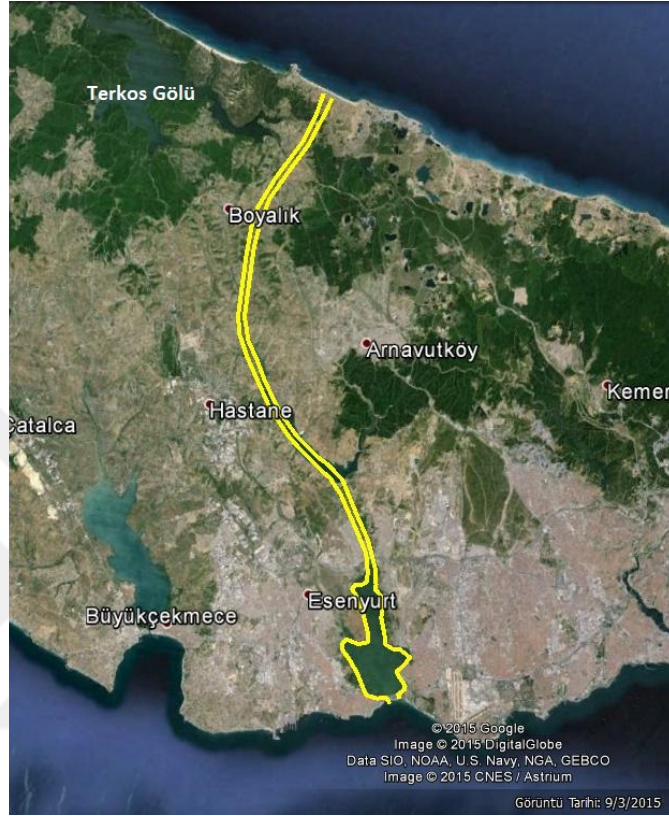


Şekil 2.2 : Model batimetrisi.

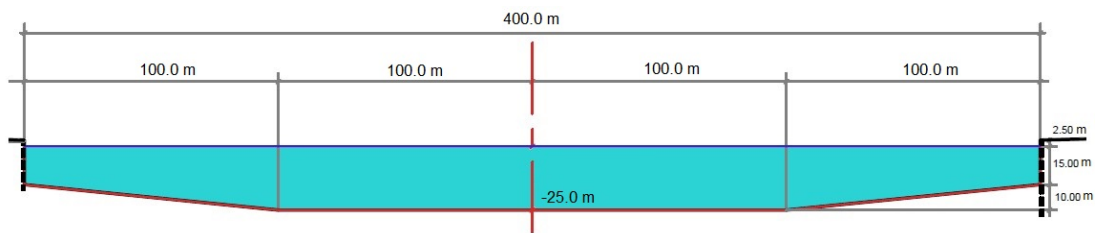
2.2.3 Kanal Geometrisi

Bu çalışmada, Kanal İstanbul projesi, güneyde Küçükçekmece Gölü'nün Marmara Denizi bağlantısı ile kuzeyde Terkos Gölü'nün doğusu arasında, yaklaşık 43 km uzunluğunda bir kanal vasıtasıyla, Marmara Denizi ile Karadeniz'in birbirine bağlayacak şekilde tanımlanmıştır (Şekil 2.3). Çalışma kapsamında dikkate alınan

kanal taban kotu, güzergâh boyunca -25.00 m olup, kanal taban genişliği 200 m'dir. Kanal su yüzeyi genişliği 400 m olup, gemi bağlama bölgelerinde bu rakam 500 m'ye çıkmaktadır. Hidrodinamik modelleme çalışmalarında kullanılan kanal kesiti Şekil 2.4'te verilmiştir.



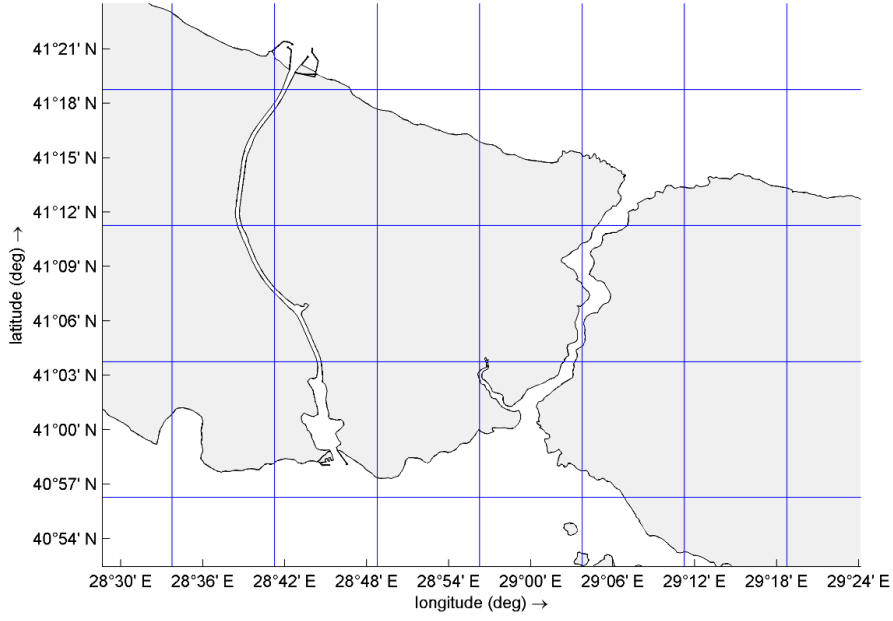
Şekil 2.3 : Kanal projesi



Şekil 2.4 : Kanal kesiti.

2.2.4 Meteorolojik veriler

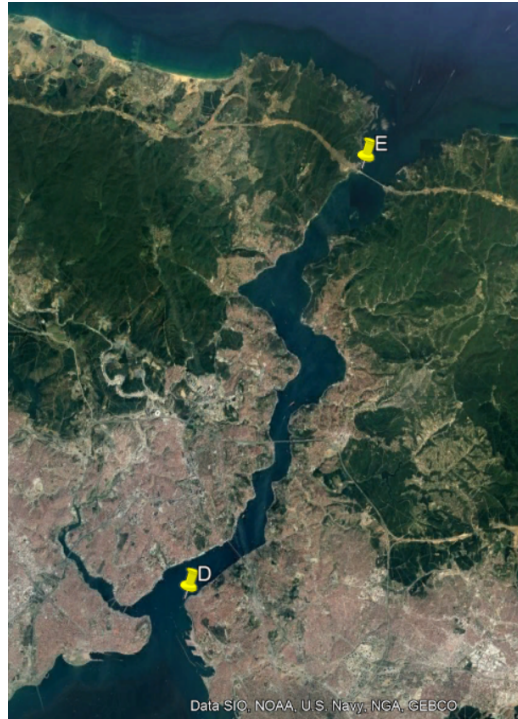
Bu tez çalışmasında meteorolojik kuvvet olarak, Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmin Merkezi (ECMWF) arşivlerinden temin edilen, denizden itibaren 10 m yükseklikteki rüzgâr hızı bileşenleri ve hava basıncı verileri kullanılmıştır. Meteorolojik verilerin zamansal çözünürlüğü 6 saat olup, mekânsal çözünürlüğü hem enlem hem boylam yönünde 0,125 derecedir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 : Meteorolojik veri ağı.

2.2.5 Su seviyesi verileri

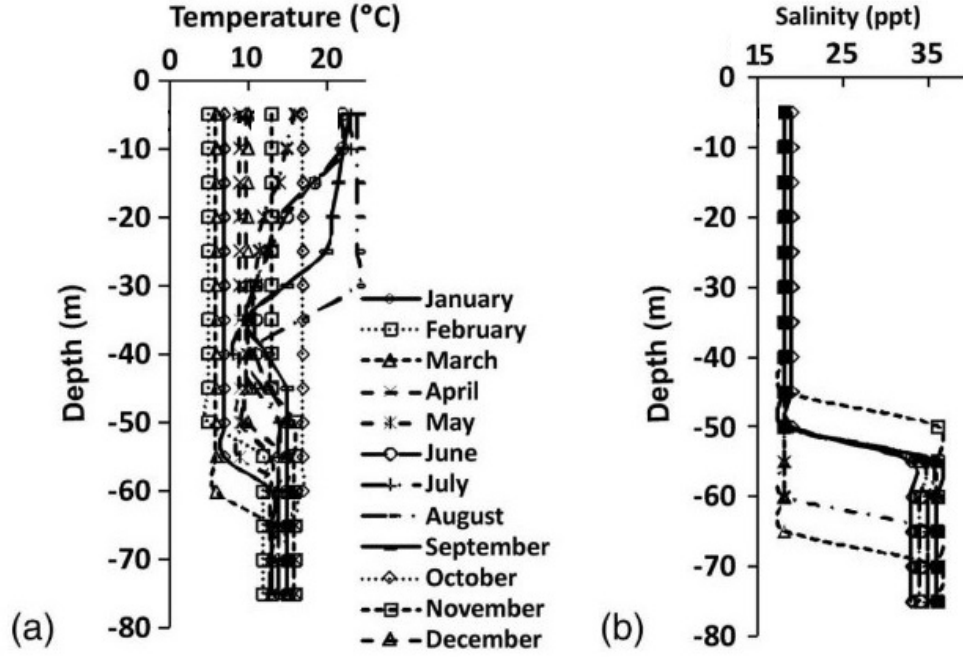
Model açık deniz sınırlarında su seviyesi olarak İstanbul Boğazı girişlerinde D ve E istasyonlarında ölçülmüş olan 10 dk'lık su seviyesi verileri kullanılmıştır. Ölçüm noktaları Şekil 2.6'da verilmiştir. Ölçüm aralığı Eylül 2004 – Ocak 2006 zaman aralığını kapsamaktadır.



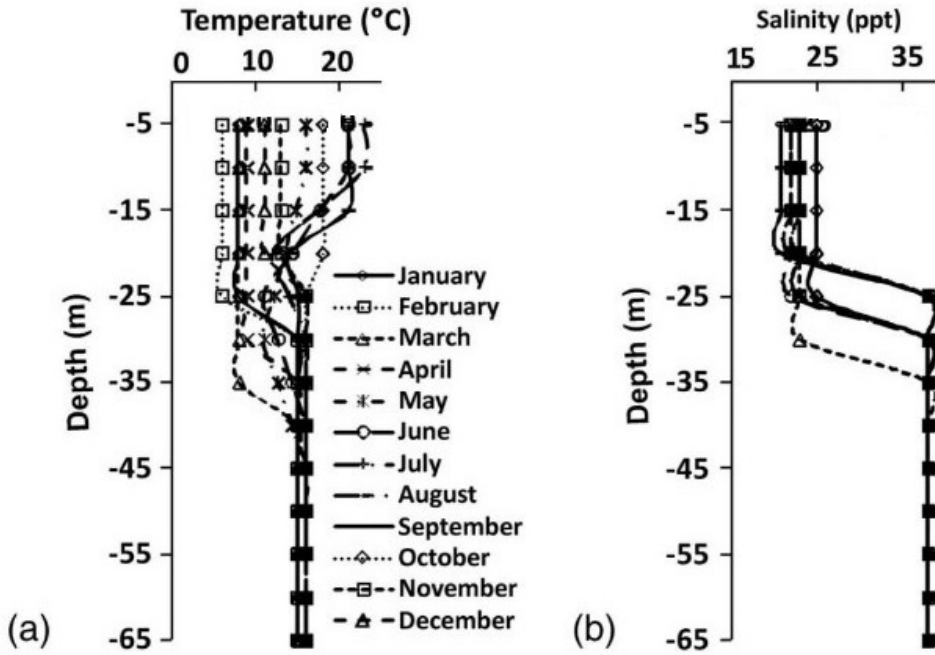
Şekil 2.6 : Su seviyesi ölçüm istasyonları.

2.2.6 Sıcaklık ve tuzluluk verileri

Hidrodinamik modelin, kuzey ve güney sınırlarındaki sıcaklık ve tuzluluk koşulları Öztürk (2013) çalışmasından alınmıştır (Şekil 2.7-2.8). Veriler aylık uniform olarak tanımlanmıştır.



Şekil 2.7 : Karadeniz sınırı için sıcaklık ve tuzluluk değerleri



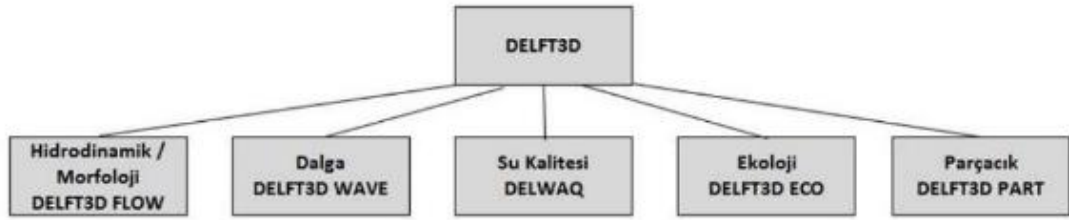
Şekil 2.8 : Marmara sınırı için sıcaklık ve tuzluluk değerleri



3. YÖNTEM

Bu tez çalışmasında, 3-boyutlu modelleme imkânı sunan Delft3D yazılımı kullanılmıştır. Delft 3D yazılımı, Hollandalı Deltares firması tarafından geliştirilmiş olup birçok çalışma disiplini ilgilendiren kıyı ve nehir çalışma alanlarında, akıntı, dalga, sediment taşınımı, su kalitesi, morfolojik değişimler ve çevrebilim gibi araştırma konularında kullanılabilen bir yazılımdır.

Delft3D, yoğunluk ifadesindeki sıcaklık ve tuzluluk parametrelerini zaman, mekân ve derinlik ile değişen şekilde kullanma imkânı sağlamakta olup, yine zamanla değişen gelgit ve meteorolojik koşulları göz önüne alarak, 3 boyutlu hidrodinamik modelleme yöntemlerinin uygulamasına olanak veren en gelişmiş yazılımlardan biridir (Deltares, 2014). Yazılıma ait modüller Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1 : Delft3D yazılımı modülleri

Hidrodinamik modelleme yazılımı, aşağıda verilmiş olan 3 boyutlu süreklilik ve momentum denklemlerini çözmektedir.

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = S \quad (3.1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial vu}{\partial y} + \frac{\partial wu}{\partial z} = \\ f v - g \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^n \frac{\partial p}{\partial x} dz - \frac{1}{p_0 h} \left(\frac{\partial s_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{xy}}{\partial y} \right) + F_u \\ + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_t \frac{\partial u}{\partial z} \right) + u_s S \end{aligned} \quad (3.2)$$

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial v^2}{\partial x} + \frac{\partial uv}{\partial y} + \frac{\partial wv}{\partial z} = \\
& fu - g \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^n \frac{\partial p}{\partial x} dz - \frac{1}{p_0 h} \left(\frac{\partial s_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{yy}}{\partial y} \right) + F_v \\
& + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_t \frac{\partial v}{\partial z} \right) + v_s S
\end{aligned} \tag{3.3}$$

Bu ifadelerde;

t: zaman

x, y, z : kartezyen koordinatlar

η : su yüzey kotu

d: su derinliği

h: $\eta + d$

u, v, w : hız bileşeni

f: Coriolis parametresi

g: yer çekimi ivmesi

ρ : su yoğunluğu

$s_{xx}, s_{xy}, s_{yx}, s_{yy}$: Radyasyon gerilme tensörü bileşeni

v_t : düşey türbülans (eddy) viskozitesi

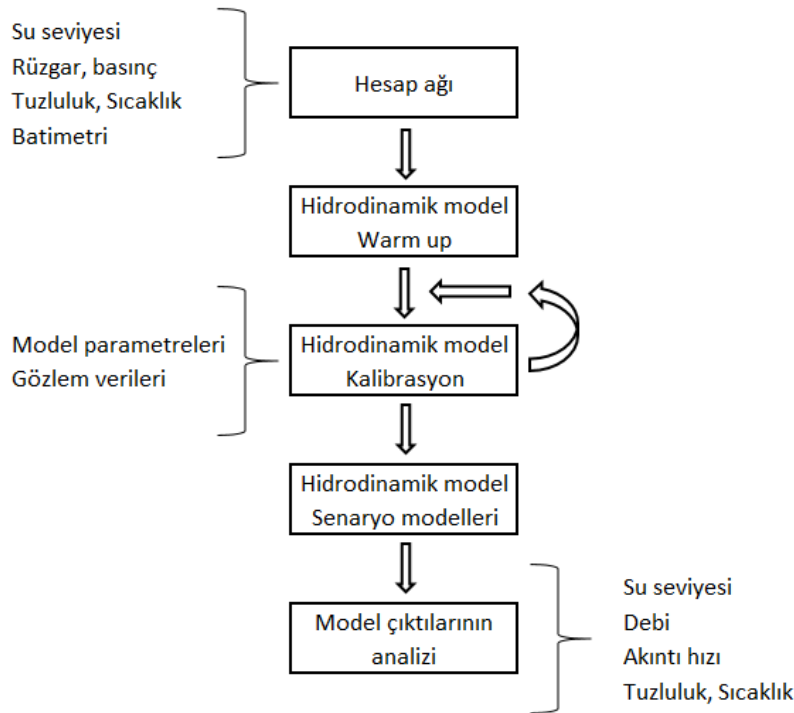
p_a : atmosferik basınç

ρ_0 : Referans su yoğunluğu

S: debi büyüklüğü

değerlerine karşı gelmektedir.

Çalışmada izlenen metodoloji Şekil 3.2’de verilen akış şemasında özetlenmiştir.



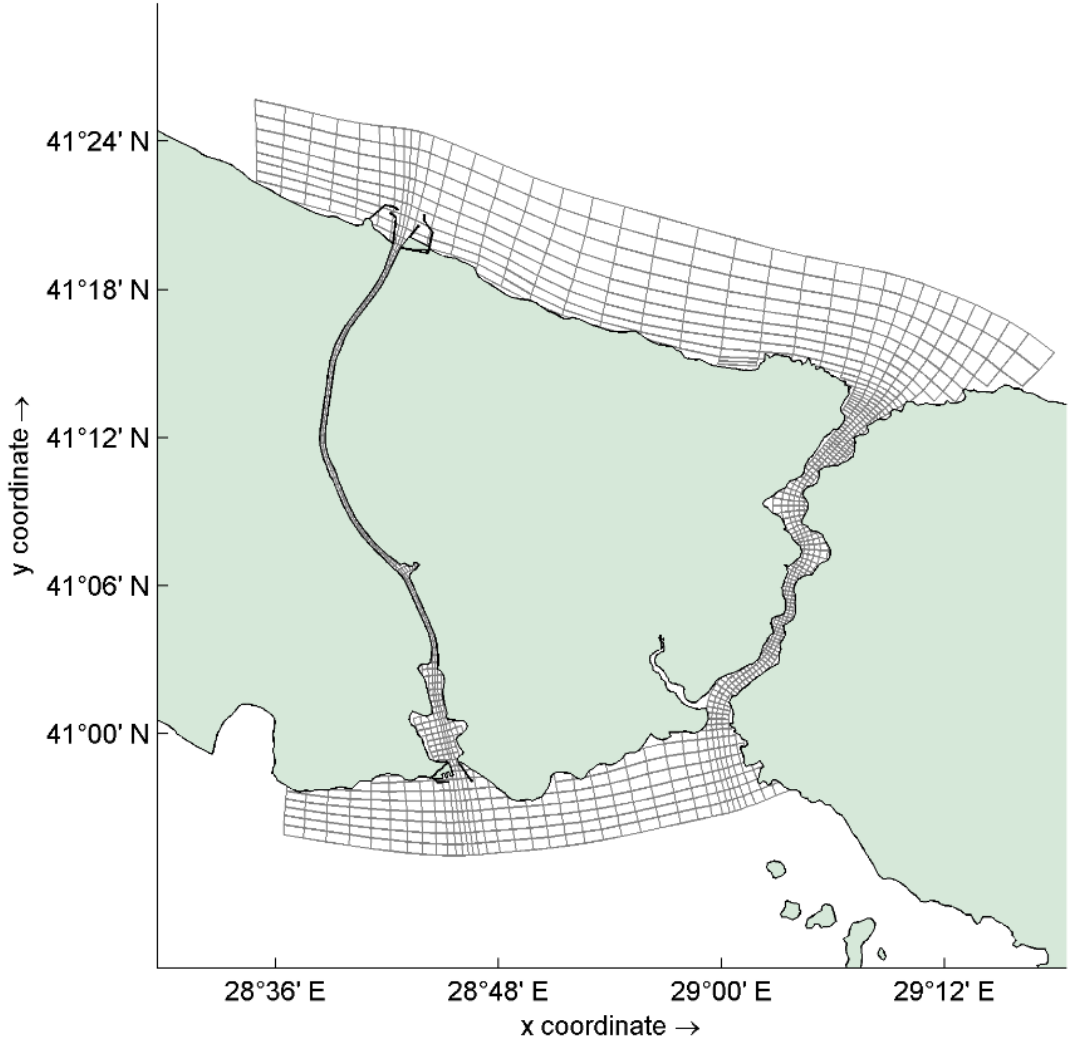
Şekil 3.2 : Akış şeması

3.1 Model Yapılandırma Aşaması

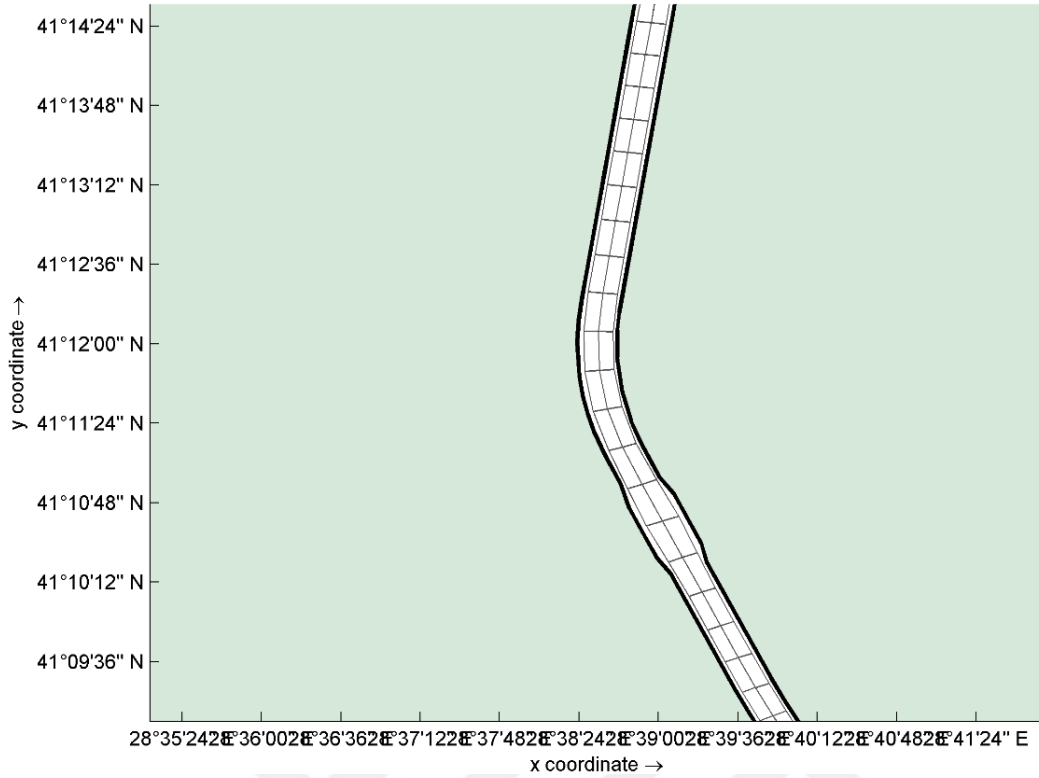
Kanal İstanbul ve İstanbul Boğazı iki farklı yoğunluğa sahip denizi birbirine bağlayacağından dolayı, yoğunluk farklılıklarının tutarlı bir şekilde modellenmesi gerekmektedir. Bu nedenle, akıntıya etki eden meteorolojik kuvvetlerin yanında, tuzluluk ve sıcaklık parametrelerini de içeren 3 boyutlu bir model yapılandırılmıştır.

3.1.1 Hesap ağı

Çalışma alanı üzerinde curvilinear mesh yapısında yatay hesap ağı oluşturulmuştur. Hesap ağı 1487 grid elemanından oluşmaktadır. Yatay hesap ağı çözünürlüğü 155m – 2200m arasında değişim göstermektedir. Yatay hesap ağı görüntüsü Şekil 3.3'te verilmiştir. Kanal hesap ağı görüntüsü ise Şekil 3.4'te sunulmuştur.



Şekil 3.3 : Yatay hesap ağı



Şekil 3.4 : Kanal hesap ağı

Çalışma alanı üzerinde düşey hesap ağı olarak Z-model tipi kullanılmıştır. Z-model düşey hesap ağı tipinde kullanıcı tarafından belirlenen tabaka kalınlıkları çalışma alanının her bölgesinde sabit olup tabaka ayırım çizgileri birbirine paraleldir. Toplam 22 adet tabaka ile çalışılmıştır. En ince tabaka su yüzeyinde olup, derinlikle birlikte tabakalar kalınlaştırılmıştır. Derinliğe bağlı olarak tabaka sayısı değişmektedir. Tabaka kalınlıkları ve derinlikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir. Tabaka sayıları su derinliklerine bağlı olarak, İstanbul Boğazı’nda 9 tabaka, Kanal İstanbul’da ise 5 tabaka olarak tanımlanmıştır.

Çizelge 3.1 : Düşey tabaka kalınlıkları

Tabaka no.	Kalınlık (m)	Kümültif derinlik (m)
1	57	279 - 336
2	50	228 - 279
3	40	188 - 228
4	30	158 - 188
5	17	141 - 158
6	10	131 - 141
7	10	121 - 131
8	10	111 - 121
9	10	101 - 111
10	10	91 - 101

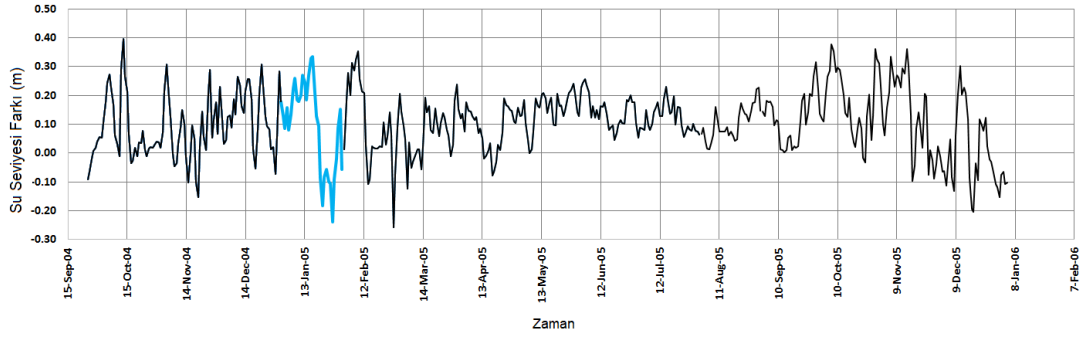
11	10	81	-	91
12	10	71	-	81
13	10	60	-	71
14	10	50	-	60
15	10	40	-	50
16	10	30	-	40
17	5	25	-	30
18	5	20	-	25
19	5	15	-	20
20	5	10	-	15
21	5	5	-	10
22	5	0	-	5

3.1.2 Başlangıç koşulları

Tüm çalışma alanında uniform 31 ppt tuzluluk ve 15 derece sıcaklık tanımlanarak warm-up modelleri çalıştırılmıştır. Başlangıç su seviyesi ve akıntı hızları sıfır olarak alınmıştır.

3.1.3 Sınır koşulları

Hidrodinamik modelde, açık denizde su seviyesi sınır koşulu tanımlanarak modeller çalıştırılmıştır. Simülasyon süresi için Ocak, 2005 seçilmiştir. Ölçüm periyodu boyunca Karadeniz ile Marmara arasındaki su seviyesi farkı Şekil 3.5'te verilmiştir (Mavi ile gösterilen su seviyesi farkı Ocak ayını temsil etmektedir). Ayrıca, model sınırlarına Ocak ayı için derinlikle değişen tuzluluk ve sıcaklık değerleri girilmiştir.



Şekil 3.5 : Karadeniz – Marmara su seviyesi farkı (m)

3.1.4 Ocak ayı su seviyesi değişimi

Ocak 2005 döneminde, 21 Ocak gününe kadar boğazın Karadeniz girişindeki su seviyelerinin Marmara Denizi girişindeki su seviyelerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. 21 Ocak tarihinden sonraki dönemde ise Marmara Denizi tarafındaki

su seviyelerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Her iki tarafında baskın olduğu Ocak 2005 dönemi simülasyon periyodu olarak seçilerek, 1 aylık süre için modelleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Senaryo modelleri öncesinde 1 aylık bir süre için warm-up yapılmıştır. Zaman adımı 1 dakika olarak kullanılmıştır.

3.2 Kalibrasyon

Bu çalışmadaki model parametreleri, Erdik v.d., (2019) tarafından gerçekleştirilen çalışmadan elde edilmiştir. Kullanılan katsayılar Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2 : Model parametreleri

Parametreler	Değerler
Yatay viskozite (m^2/s)	10
Yatay diffuzivite (m^2/s)	10
Düşey viskozite (m^2/s)	0.00001
Düşey diffuzivite (m^2/s)	0.00001
Manning	0.024
Hava yoğunluğu (kg/m^3)	1.225
Su yoğunluğu (kg/m^3)	1020
Wind drag coef. Breakpoints (coefficients)	0.002, 0.003
Turbulans model	k-e

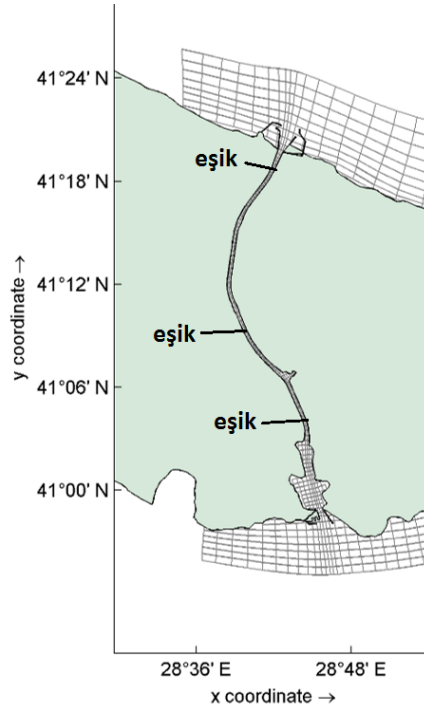
4. UYGULAMALAR

Bu tez çalışmasında, farklı senaryolar altında kanal içindeki debi değişimleri incelenmiştir. Bu amaç doğrultusunda Çizelge 4.1’de verilen senaryolar kullanılmıştır.

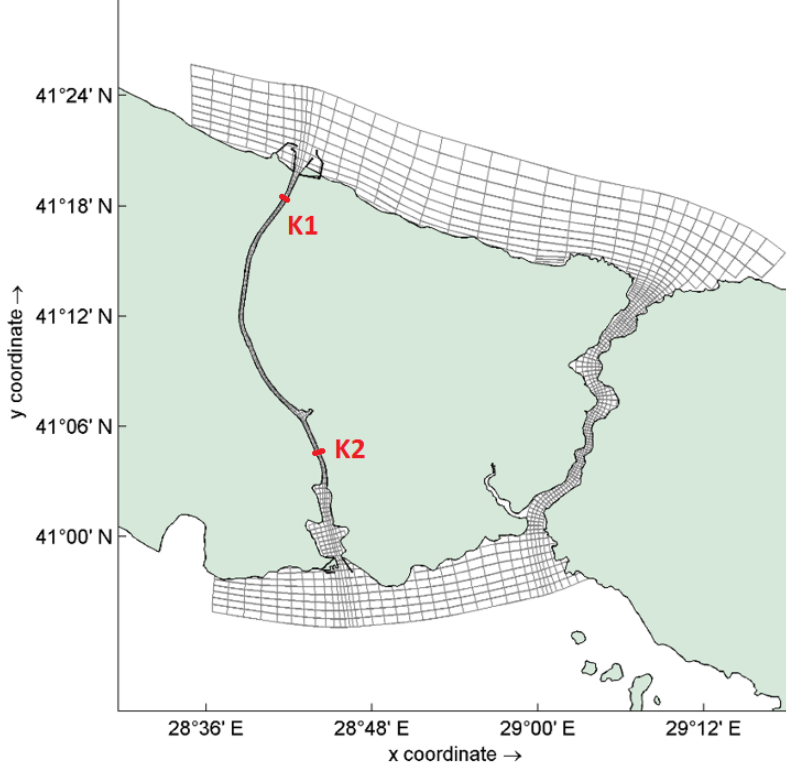
Çizelge 4.1 : Modelleme senaryoları

Senaryo no.	Manning	Eşik durumu
s1	0.012	eşik yok
s2	0.024	eşik yok
s3	0.036	eşik yok
s4	0.024	KD tarafında 2m eşik
s5	0.024	ortada 2m eşik
s6	0.024	MD tarafında 2m eşik
s7	0.024	KD tarafında 4m eşik
s8	0.024	KD tarafında 6m eşik
s9	0.024	KD tarafında 8m eşik

Eşik konulan senaryolarda eşik konumları Şekil 4.1’de, gözlem kesitleri (K1 ve K2) ise Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.1 : Eşik konumları.



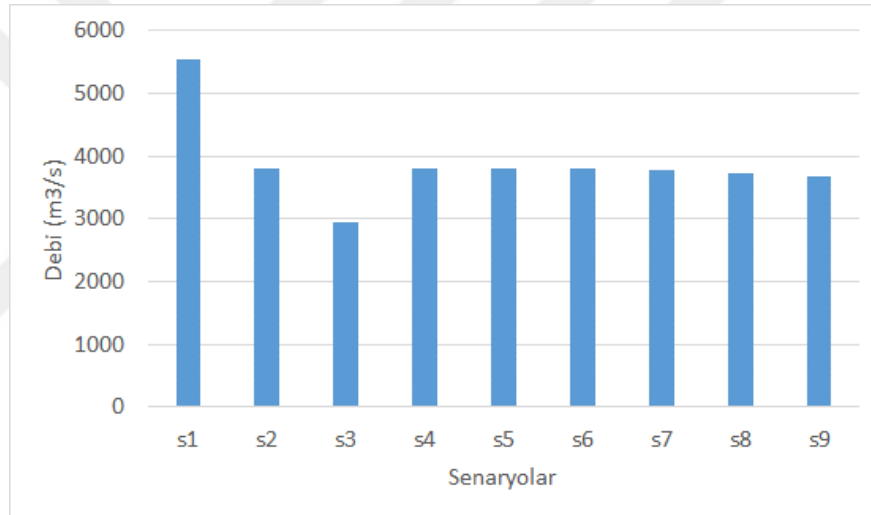
Şekil 4.2 : Gözlem kesitleri.

4.1 Kanal İçerisindeki Debi Değişimleri

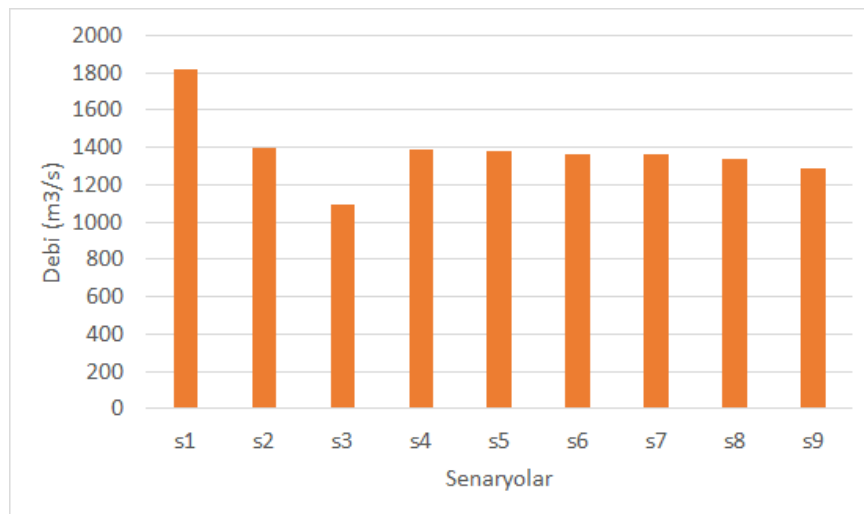
Yapılandırılan senaryoların debi değerleri üzerine etkileri, kanalın kuzey ve güney girişinde yer alan gözlem kesitleri (K1, K2) için elde edilmiştir (Çizelge 4.2). Burada, pozitif değerler Karadeniz’e doğru, negatif değerler Marmara Denizi’ne doğru akıntıyı göstermektedir. Debi değerlerinin değişimi Şekil 4.3-4.6’da görülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre kanalın her iki girişinde güney yönlü debi değerleri (üst akım) daha yüksektir. Debilerde en büyük değişim manning katsayısının değiştirildiği senaryolarda görülmüştür. En büyük debi değerleri maning katsayısının 0.012 alındığı senaryoda (s1) elde edilmiştir. Bu senaryoda güney yönündeki debiler K1 ve K2 kesitlerinde sırasıyla 5550 ve 5468 m³/s olarak elde edilmiştir. Kuzey yönündeki debiler (alt akım) ise sırasıyla 1813 ve 1828 m³/s olarak ortaya çıkmıştır. En düşük debi değerleri ise maning katsayısının 0.036 alındığı senaryoda (s3) elde edilmiştir. Bu senaryoda güney yönündeki debiler K1 ve K2 kesitlerinde sırasıyla 2945 ve 2937 m³/s olarak hesaplanmıştır. Kuzey yönündeki debiler ise sırasıyla 1093 ve 1170 m³/s olarak ortaya çıkmıştır. Manning katsayısının artışıyla birlikte üst ve alt akım debilerinin birbirine yaklaştığı görülmüştür. Manning katsayısı ile debi arasında lineer ilişki elde edilmiştir. Manning katsayısı ile debi ilişkisini gösteren grafik Şekil 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.2 : Kanal kesitlerinde debi değerleri

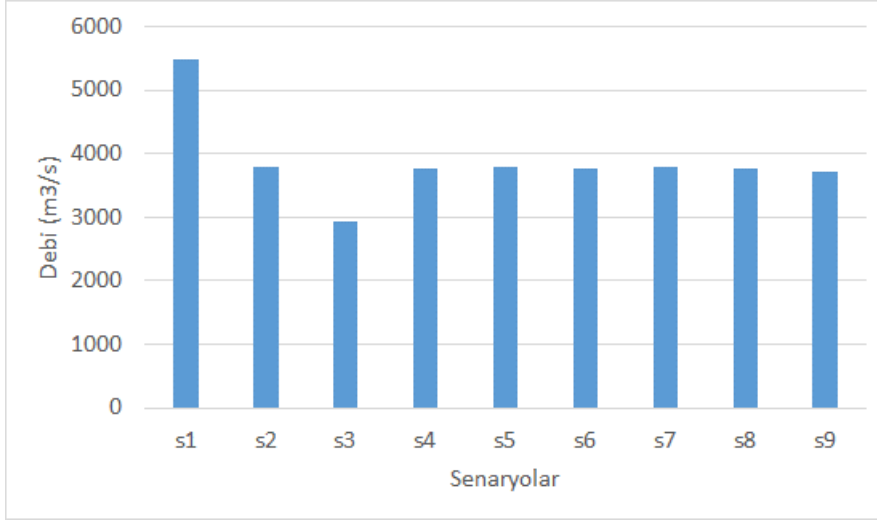
Senaryo	K1 kesiti		K2 kesiti	
	güney yönünde (m ³ /s)	kuzey yönünde (m ³ /s)	güney yönünde (m ³ /s)	kuzey yönünde (m ³ /s)
s1	-5550	1819	-5468	1828
s2	-3814	1400	-3778	1452
s3	-2945	1093	-2937	1170
s4	-3793	1386	-3759	1445
s5	-3813	1382	-3793	1436
s6	-3800	1366	-3753	1389
s7	-3775	1363	-3788	1422
s8	-3737	1334	-3770	1403
s9	-3680	1287	-3717	1362



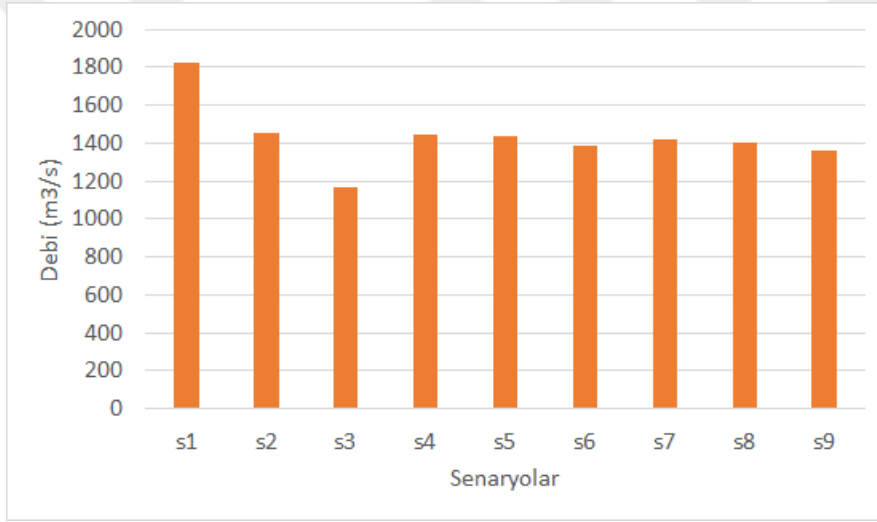
Şekil 4.3 : K1 kesitinde senaryolara göre güney yönlü debi değerleri.



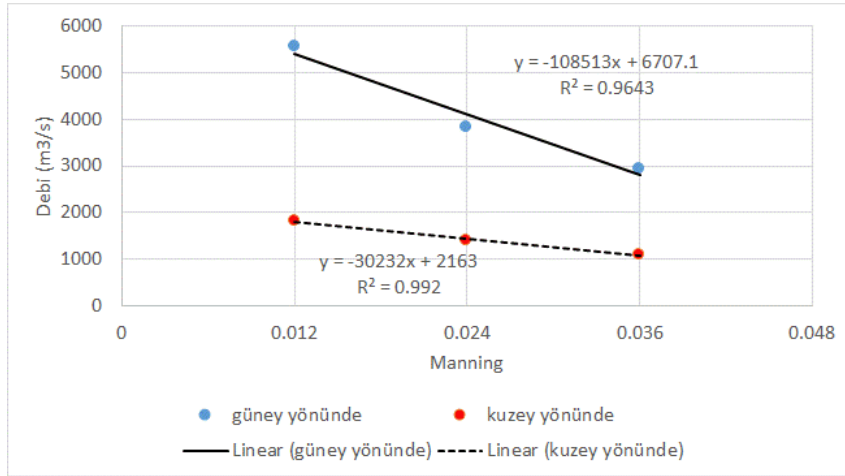
Şekil 4.4 : K1 kesitinde senaryolara göre kuzey yönlü debi değerleri.



Şekil 4.5 : K2 kesitinde senaryolara göre güney yönlü debi değerleri.



Şekil 4.6 : K2 kesitinde senaryolara göre kuzey yönlü debi değerleri.



Şekil 4.7 : Manning – Debi ilişkisi.

Eşik konulması durumunun incelendiği senaryoların verdiği sonuçlara göre, eşik konumunun veya yüksekliğinin değiştirilmesinin debi değerleri üzerine önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

4.2 Kanal İçerisinde Hız Değişimleri

Yapılandırılan senaryoların hız değerleri üzerine etkileri, kanalın kuzey ve güney girişinde yer alan gözlem kesitleri (K1, K2) için elde edilmiştir. Elde edilen maksimum ve ortalama hız değerleri K1 ve K2 kesitleri için sırasıyla Çizelge 4.3 ve 4.4'te verilmiştir. Pozitif değerler Karadeniz'e doğru, negatif değerler Marmara Denizi'ne doğru akıntıyı göstermektedir. Manning katsayısının 0.012 olması durumunda 2 m/s'ye kadar ulaşabilen akıntı hızlarının, Manning katsayısının 0.036 olması durumunda 0.9 m/s'ye kadar düştüğü görülmüştür.

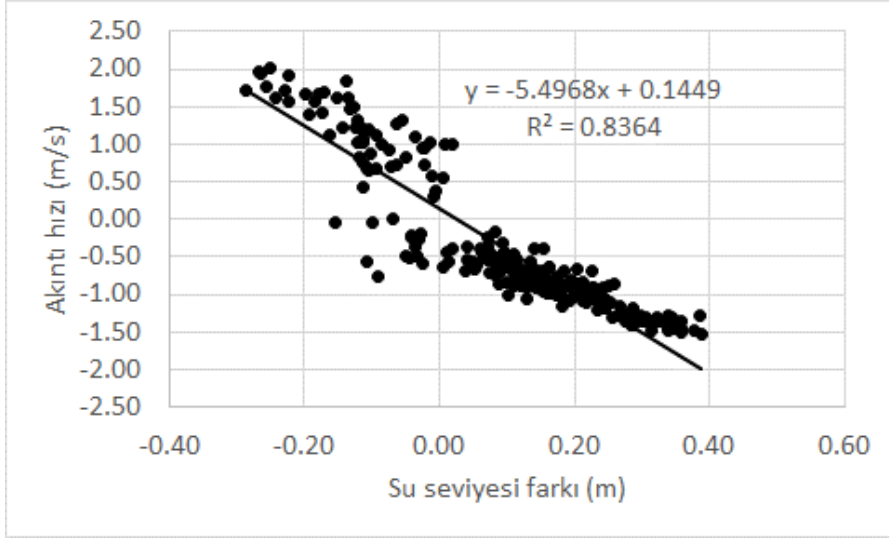
Çizelge 4.3 : K1 kesitinde hız değerleri (m/s)

Senaryolar	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
Max (+)	2.01	1.28	0.91	1.27	1.28	1.27	1.26	1.28	1.30
Max (-)	-1.54	-1.21	-1.29	-1.22	-1.21	-1.21	-1.20	-1.25	-1.27
Ort (+)	1.16	0.82	0.56	0.81	0.79	0.77	0.81	0.81	0.78
Ort (-)	-0.86	-0.62	-0.50	-0.62	-0.62	-0.62	-0.61	-0.60	-0.60

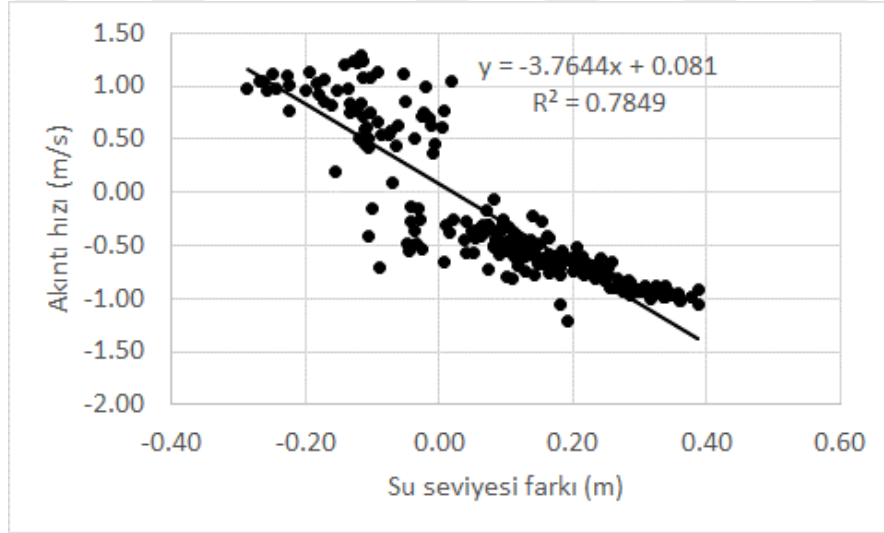
Çizelge 4.4 : K2 kesitinde hız değerleri (m/s)

Senaryolar	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
Max (+)	1.44	1.28	1.22	1.27	1.25	1.30	1.26	1.25	1.23
Max (-)	-1.48	-1.41	-1.51	-1.42	-1.50	-1.39	-1.46	-1.49	-1.49
Ort (+)	0.81	0.76	0.69	0.76	0.76	0.78	0.75	0.74	0.72
Ort (-)	-0.89	-0.71	-0.63	-0.71	-0.71	-0.68	-0.71	-0.70	-0.70

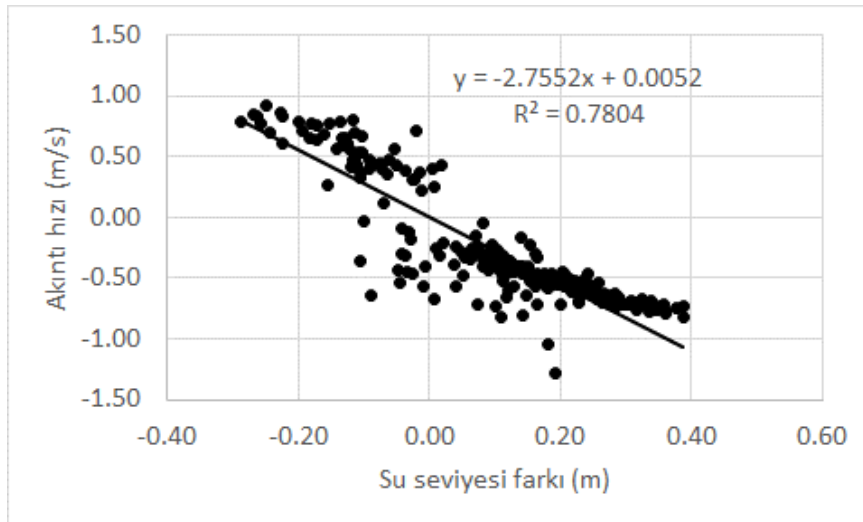
Karadeniz ve Marmara Denizi arasındaki su seviyesi farkının akıntı hızları ile ilişkisi de incelenmiştir. Model sonuçlarına göre akıntı hızları en çok Manning katsayısı değişiminden etkilendiğinden dolayı ilişkiler s1, s2 ve s3 senaryoları için incelenmiştir (Şekil 4.8 – 4.10). Lineer ilişki R^2 değerleri s1, s2 ve s3 senaryoları için sırasıyla 0.84, 0.79 ve 0.78 olarak elde edilmiştir. Manning katsayısı arttıkça, su seviyesi ile akıntı arasındaki ilişkinin azaldığı (R^2 değerlerinin düştüğü) görülmüştür.



Şekil 4.8 : S1 senaryosu için su seviyesi farkı - akıntı hızı ilişkisi



Şekil 4.9 : S2 senaryosu için su seviyesi farkı - akıntı hızı ilişkisi

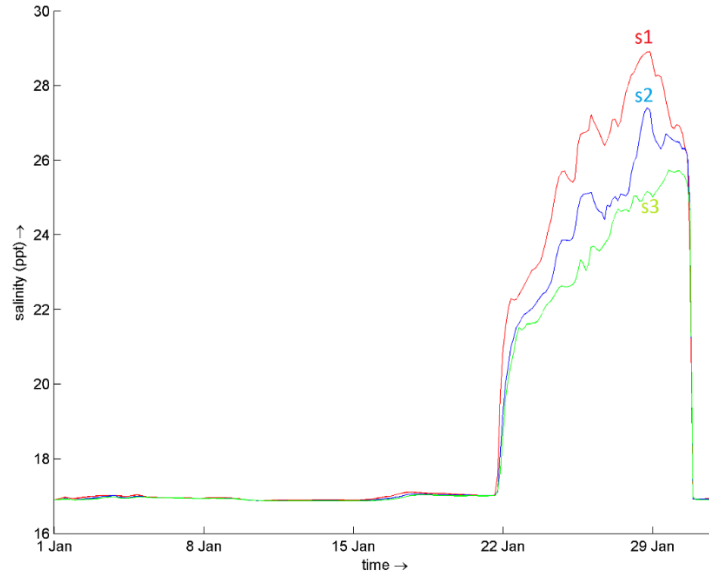


Şekil 4.10 : S3 senaryosu için su seviyesi farkı - akıntı hızı ilişkisi

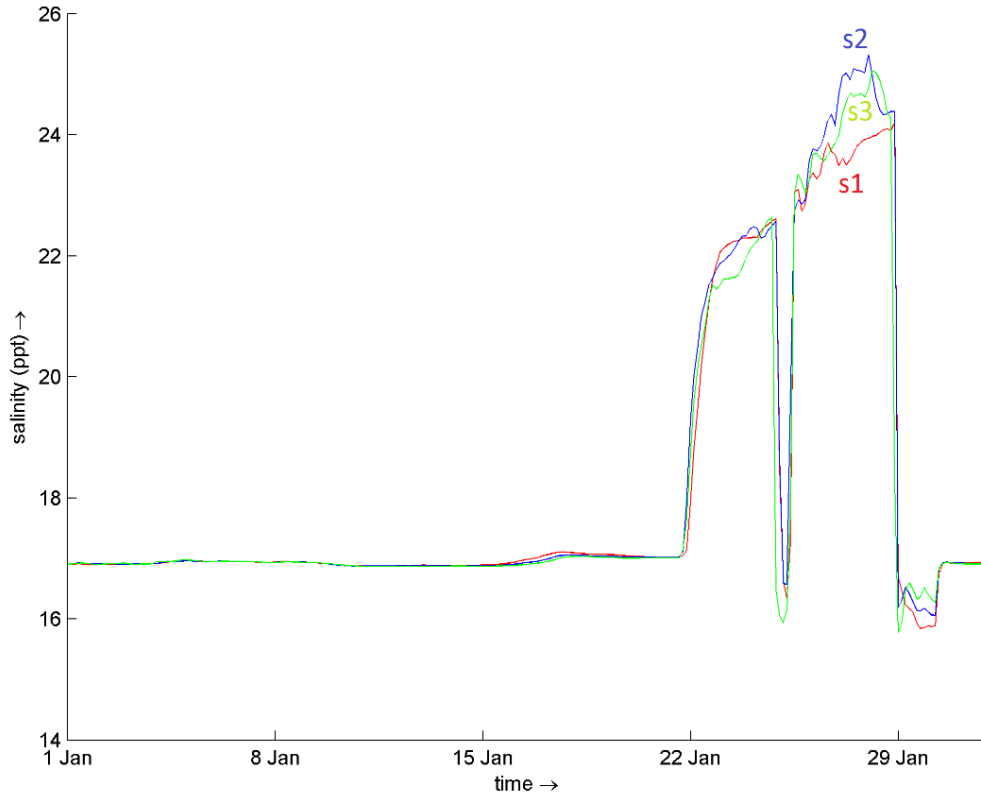
4.3 Kanal İçerisinde Tuzluluk Değişimleri

Gerçekleştirilen senaryolarda, kanalın kuzey ve güney girişinde yer alan gözlem kesitleri (K1, K2) için tuzluluk değişimi incelenmiştir. Hız ve debi analizlerinde elde edilen sonuçlara benzer olarak, tuzluluk değişimleri de s1, s2 ve s3 senaryoları için yüksek oranda farklılık göstermiştir. S4-S9 senaryolarındaki tuzluluk değişimlerinin, aynı manning değerine sahip s2 senaryosu ile benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir. Bu nedenle, s1-s3 senaryoları için sonuçlar incelenmiştir.

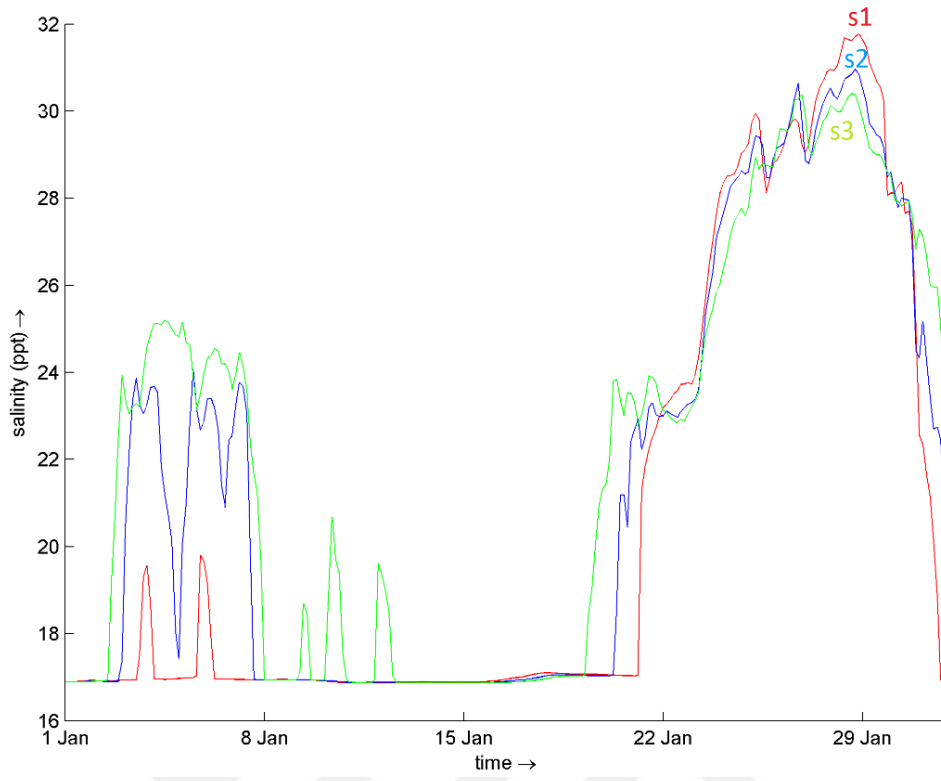
Kanalın Karadeniz tarafındaki kesitte (K1) tabandaki tuzluluk değerlerinin değişimi Şekil 4.11’de verilmiştir. Manning arttıkça tuzluluk değerinin düşük kaldığı görülmüştür. Pürüzlülük katsayısının 0.012 olduğu durumda tuzluluk değeri yaklaşık 30ppt değerine ulaşırken, pürüzlülük katsayısının 0.036 olduğu durumda tuzluluk değeri yaklaşık 26 ppt değerine ulaşabilmiştir. Su yüzeyinde ise pürüzlülüğün 0.012 olduğu senaryoda en düşük tuzluluk değeri (24 ppt) oluşmuştur (Şekil 4.12). K2 kesitindeki tuzluluk değişimleri Şekil 4.13- 4.14’te verilmiştir. Karadeniz su seviyesinin Marmara su seviyesine göre yüksek olduğu durumda kanal boyunca tuzluluk oranlarının düşük seviyelerde (yaklaşık 18 ppt) olduğu görülmüştür. Marmara Denizi su seviyesinin Karadeniz’e göre daha yüksek olduğu dönemde ise Kanal içerisindeki tuzluluk oranlarının tabanda 30 ppt, yüzeyde ise 26 ppt değerlerine kadar çıktığı tespit edilmiştir. Kanal boyunca tuzluluk profilleri Şekil 4.15-4.16’da verilmiştir.



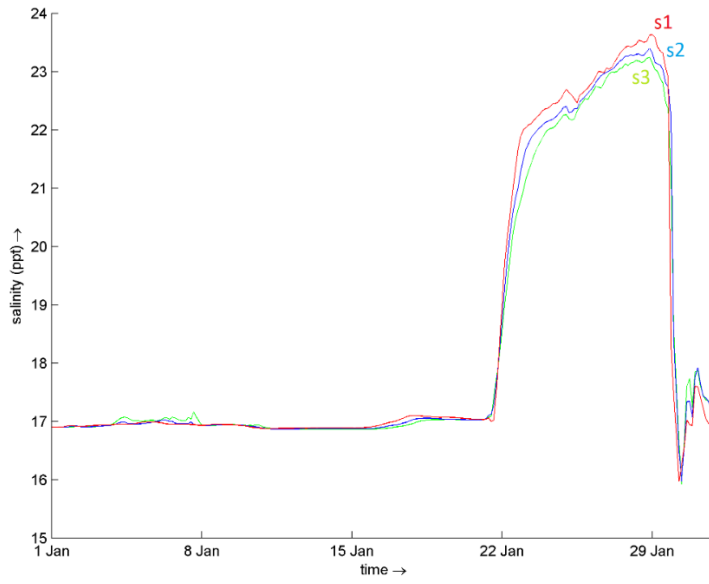
Şekil 4.11 : K1 kesiti tabanında tuzluluk değişimleri.



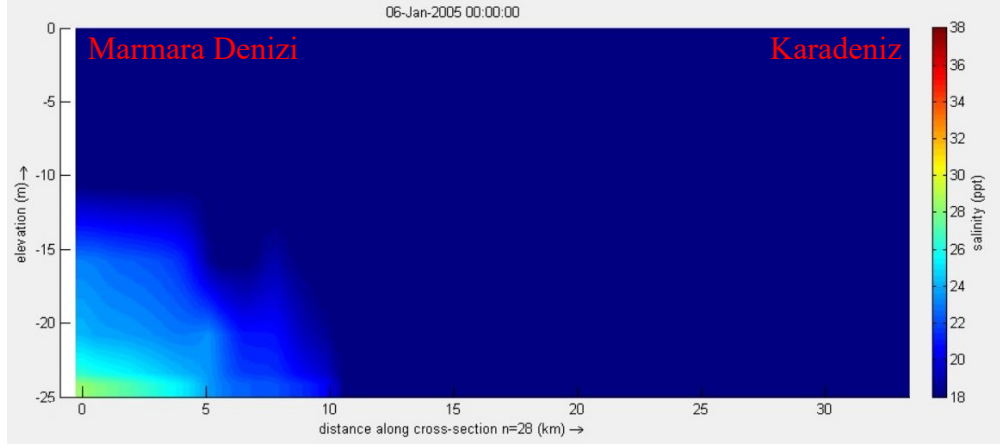
Şekil 4.12 : K1 kesiti yüzeyde tuzluluk değişimleri.



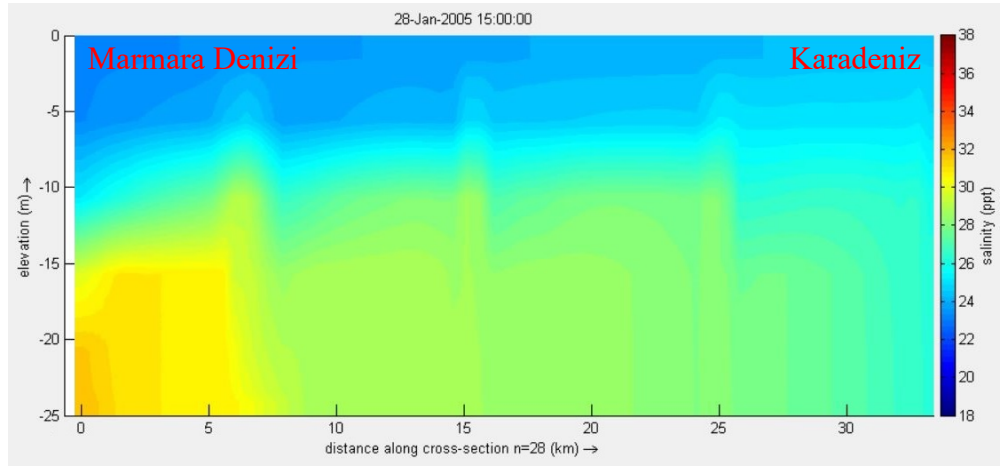
Şekil 4.13 : K2 kesiti tabanında tuzluluk değişimleri.



Şekil 4.14 : K2 kesiti yüzeyde tuzluluk değişimleri.



Şekil 4.15 : Karadeniz'in baskın olduğu durumda kanal boyunca tuzluluk.



Şekil 4.16 : Marmara'nın baskın olduğu durumda kanal boyunca tuzluluk.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Kanal İstanbul hidrodinamik modeli 3-boyutlu Delft3D ile hazırlanmıştır. Kanalın derinliği 25m ve genişliği 400m olan bu kanalın uzunluğu 43 Km'dir. Numerik model için hazırlanan sayısal hesap ağı 1487 elemandan oluşmuştur.

Kanalın farklı konumlarında çeşitli taban eşiği ekleyerek ve farklı pürüzlülük katsayıları ile toplamda 9 farklı senaryo oluşturulmuştur. Her bir senaryo kalibre edilmiş numerik modelde çalıştırılarak sonuçlar elde edilmiştir ve kanalın üzerinde 2 kesitte hem debi hem de akım hızları değerlendirilmiştir.

Senaryo 1'de en büyük debi ve en yüksek akım hızı değerleri elde edilmiştir (hem Karadeniz'den Marmara Denizi'ne doğru hemde Marmara Denizi'nden Karadeniz'e doğru). En düşük debi ve akım hızı ise senaryo 3'te oluşmuştur. Pürüzlülük katsayısı değeri senaryo 3'te diğer senaryolara göre en yüksektir.

Akım hız ve debi değeri açısından senaryo 2, 4, 5, 6, 7, 8 ve 9 yakınlık göstermişlerdir. Bu senaryoların ortak noktası, hepsinde pürüzlülük katsayısının eşit olmasıdır. Buradan, pürüzlülük katsayısının kanal akımında en etkili parametre olduğu sonucuna varılmıştır. Karadeniz sularının Marmara Denizine etkisini en aza indirmek için kanal pürüzlülüğünün 0.036 veya daha büyük alınması önerilmektedir. Bu pürüzlülük katsayısı doğal akarsu tabanına karşı gelmektedir.

Senaryolardan elde edilen sonuçlar tuzluluk değişimi açısından değerlendirildiğinde, kanalın tabanındaki tuzluluk değişimi kanalın yüzeyine göre daha fazla olmaktadır. Karadeniz su seviyesinin Marmara su seviyesine göre yüksek olduğu durumda kanal boyunca tuzluluk oranlarının düşük seviyelerde olduğu görülmüştür. Marmara Denizi su seviyesinin Karadeniz'e göre daha yüksek olduğu dönemde ise Kanal içerisindeki tuzluluk oranlarının arttığı gözlemlenmiştir.

Model sonuçları incelendiğinde kanaldaki akım hızı ve su seviye değişimi arasında güçlü bir korelasyon olduğu görülmüştür.



KAYNAKLAR

- Albek, E. A.** (1987). A numerical model for the Marmara Sea. *Boğaziçi Univ. Sci. Department*. pp. 146
- Alpar, B., Yüce, H.** (1998). Sea-level variations and their interactions between the Black Sea and the Aegean Sea. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, Vol. 46 (5), pp. 609-619.
- Altıok, H., and Kayışoglu, M.** (2015). "Seasonal and interannual variability of water exchange in the Strait of Istanbul." *Mediterranean Mar. Sci.* Vol. 16 (3), pp. 636–647. DOI: <https://doi.org/10.12681/mms.1225>.
- Başaraner, M., YÜCEL, M. A., ÖZMEN, Ç.** (2011). İstanbul Boğazı'nda Transit Gemilerin Kullandığı Seyir Rotalarının Coğrafi Bilgi Sistemi Yardımıyla İncelenmesi ve İyileştirilmesi, *Harita ve Kadastro Mühendisleri (HKM) Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*, Sayı: 104-Özel, S.2, Yıl: 2011-3, s. 75-79.
- Bayazıt, M., Sümer, M.**(1982). İstanbul Boğazı'nın Hidrolik ve Oşinografik Etüdü-2 (The Hydraulic and Oceanographic Survey of Istanbul Strait-2). TBTA Su. Alma. Ünitesi. Kesin. Rapor.
- Beji, S. And Erdik T.** (2018). "Hydrodynamics and Modelling of Turkish Straits". Oil Spill Along The Turkish Straits Sea Area; Accidents, Enviromental Pollution, Socio-Economic Impacts and Protection, İstanbul, 79-90
- Beşiktepe, Ş. T., Sur, H.I., Özsoy, E., Latif, M. A., Oğuz, T., Ünlüata, Ü.** (1994). The circulation and hydrography of the Marmara Sea. *Progress in Oceanography*, Vol. 34 (4), pp. 285-333.
- Blain, C. A., Cambazoglu, M. K., ve Kourafalou, V. H.** (2009). "Modeling the Dardanelles strait outflow plume using a coupled model system," *OCEANS*, pp. 1-8.

- Erdik, T., Şen, O., Erdik, J. D., Öztürk, İ.** (2018). Long-Term 3D Hydrodynamic Modeling and Water Surface Statistics in Marmara Sea. *Marine Geodesy*, 41(2), 126-143
- Erdik, T., Şen, O., Öztürk, İ.**(2019). 3D Numerical Modeling of Exchange Flows in Golden Horn Estuary. *J. Waterway, Port, Coastal, Ocean Eng.*, Vol. 145(5): 04019018. DOI: 10.1061/(ASCE)WW.1943-5460.0000516
- Erdik, T., Şen, O., Öztürk, İ.**(2019). Testing various scenarios to improve circulation in Golden Horn: A case study. *Marine Pollution Bulletin*. Vol. 146, pp.598-607. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.05.051>
- Jarosz, E., Teague, W. J., Book, J. W., and Beşiktepe, Ş.** (2011). “On flow variability in the Bosphorus Strait.” *J. Geophys. Res.*, Vol. 116(C8),C08038.
- MEMPIS Consortium** (2006). Environmental master plan and investment strategy for the Marmara Sea basin-Turkey. Water quality modeling of the Sea of Marmara, model development and scenario simulations. Kirchberg, Luxembourg: European Investment Bank and Turkish Ministry of Environment &Forestry.
- Oğuz, T., Sur, H.I.**(1989). A two-layer model of water exchange through the Dardanelles Strait. *Oceanologica.V.* 12, pp. 23-31
- Özsoy, E., Latif, M. A., Sur, H. I., and Goryachkin, Y.** (1996). “A review of the exchange flow regime and mixing in the Bosphorus Strait.” *Bull.Inst. Oceanogr.*, Vol. 2, pp. 187–204.
- Öztürk, M., Ayat, B., Aydoğan, B., Yüksel, Y.** (2012). 3D numerical modeling of stratified flows: Case study of the Bosphorus strait. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, Vol.138, pp.406-419. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WW.1943-5460.0000132](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WW.1943-5460.0000132)
- Öztürk, M.** (2013). Numerical Modeling of the Effect of Duration of Barotropic Forcing on Sea Strait Flow: Case Study of the Bosphorus Strait. *Journal of Hydraulic Engineering*. Vol., 139, Issue 11 - November 2013. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0000783](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000783)

- Öztürk, M. ve Yüksel, Y.** (2010). “The numerical modelling of the effect of occurrence duration on the water level difference for the Bosphorus Strait.” *Proc., 32nd Conf. on Coastal Engineering, International Conference on Coastal Engineering (ICCE)*, Shanghai, China.
- Peneva, E., Stanev, E., Belokopytov, V., Le Traon, P. Y.** (1994). Water transport in the Bosphorus Straits estimated from hydro-meteorological and altimeter data: seasonal to decadal variability. *Journal of Marine Systems*. Vol. 31, Issues 1–3, November 2001, pp. 21-33
- Saçu, Ş., Erdik, T., Stanev, E., Şen, O., Duricic, J., Öztürk, İ.** (2020) Hydrodynamics of Canal Istanbul and its impact in the northern Sea of Marmara under extreme conditions DOI:10.1007/s10236-020-01358-4
- Schruma, C., Staneva, J., Özsoy, E.** (2001). Air–sea exchange in the Black Sea estimated from atmospheric analysis for the period 1979–1993. *Journal of Marine Systems*. Vol., 31, Issues 1–3, November 2001, Pages 3-19
- Sur, H.I., Okuş, E., Sarikaya, H.Z., Altioğ, H., Eroğlu, V., Öztürk, İ.** (2002). Rehabilitation and water quality monitoring in the Golden Horn. *Water Sci Technol*. Vol. 46 (8), pp. 29–36.
- Şen, O., Saçu, Ş., Erdik, T., Duricic, J., Öztürk, İ.** (2019). Investigation of Northern Bosphorus Flow Structure with River Danube. 9th International Symposium on Atmospheric Sciences (ATMOS 2019).
- Yüksel, Y., Ayat, B., Öztürk, M., Aydoğan, B., Güler, İ., Ozkan Cevik, E., Yalçınmerc, A. C.** (2008). “Responses of the stratified flows to their driving conditions.” *Ocean Eng.*, Vol. 35(13), 1304–1321.



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Mehmet Fatih SAVCI

Doğum Tarihi ve Yeri :

E-posta :

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2006 , İstanbul Kültür Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakülte, İnşaat Mühendisliği Bölüm
- **Yükseklisans** : 2020, İstanbul Teknik Üniversitesi, Kıyı Bilimleri ve Mühendisliği Anabilim Dalı