

İSTANBUL BOĞAZINDA ARAŞTIRMALAR

II

BOĞAZDAKİ SU HAREKETLERİ ÜZERİNDE YENİ BİR İPOTEZ

(Bir hartası vardır. Pafta. VI)

Philip ULLYOTT ve Orhan İLGAZ (Robert Kolej, İstanbul)

Önsöz

İlk yazımızda (Ulliyott ve Ilgaz, 1943,1) Boğazda evvelce çalışmış olanların Boğaz akıntıları üzerindeki fikirlerini bildirmiştik. Şimdiye kadar Boğazdaki vaziyetin en doğru tasviri diye kabul edilen Merz-Möller nazariyesine bilhassa önem vermiştik. Merz-Möller nazariyesini kısaca şöyle anlatabiliriz. Boğazda biri üstte Karadenizden Marmara denizine, öteki altta daha tuzlu olan ve Marmaradan Karadenize giden iki akıntı vardır. Bu alttaki çok tuzlu suların akmasının sebebi Merz'e göre, basittir. Merz ve Möller (1928) Boğaz oluşunun kuzeye doğru eğimli olduğunu ve Üsküdarla Dolmabahçe arasında bulunan eşğin üstünden geçen fazla tuzlu suların yokuş aşağı bir nehir yatağında imiş gibi kuzeye Karadenize akıdığını iddia ediyordu. Son yazımızda bu alt akıntının Karadenize çıkabileceğinin çok şüpheli olduğunu söylemiştik. Çünkü Boğazın kuzey ağzı açığında bulunan mevkiin bütün hidrografik hartaları burada en çok 50 metre derinlikte Boğazın bir kıyısından ötekine kadar uzanan düzensiz bir yarım daire şeklinde bir sırt göstermektedirler. Bu eşğin varlığı Merz-Möller teorisinin hakikate uygun olmayacağını gösteriyor.

Bu yazımızda, Boğazın ağzında böyle bir eşik bulunmasına rağmen alt akıntının kuzeye doğru akmasını izah eden yeni bir ipotez anlatılacaktır.

Bu münasebetle ortaya koyacağımız deliller, kısmen bizim kendi sıcaklık ve tuzluluk ölçülerimize, kısmen de Merz'inkiler de dahil olmak üzere eski ilim adamlarının ölçülerine dayanacaktır. İlk ön-

ce Merz'in kayıtlarının ve yaptığı tuzluluk ve sıcaklık ölçülerinin doğruluğundan hiç şüphemiz olmadığını söylemek isteriz. Fakat bilhassa Möller'in bu ölçülerden çıkardığı neticenin tamamıyla doğru olabileceğini pek zannetmiyoruz ve bunun iki sebebi olabileceğini tahmin ediyoruz. Evvelâ, kuzey eşiginin mevcudiyeti ve Karadenizin derinlerindeki suların binde 22.5 tuzluluğu gibi birtakım çok önemli hakikatler görülmemiş veya ihmal edilmiştir; sonra da değişik hava şartları sırasında elde edilen kayıtlar bir araya getirilerek bunlardan muvafık olması icab eden bir plân meydana koymaya çalışılmıştır.

İstanbul Boğazı alanında fikirleri umumileştirmek imkânı yoktur. Burada iklim çok kararsızdır ve araştırmalarımız meteorolojik durumdaki her değişikliğin Boğazın durumunda da bir değişiklikle takib edildiğini meydana çıkarmıştır (Ulliyott ve Ilgaz 1943, 2). Tecrübemiz, 1942 Ağustosundan 1943 Ağustosuna kadar geçen zamanda suların sıcaklıkla tuzluluk durumu üzerinde yaptığımız araştırmalarla kazanılmıştır. Bu araştırmalar esnasında 2000 den ziyade ölçü yapılmış ve normal durumu, müstesna hallerden ayırmak mümkün olmuştur. Hattâ bu yazı serisinin başka bir yerinde anlatılacağı gibi bazı «standard durumlar» bile bulunmuştur.

Boğazdaki suların çok kararsız olması, hem mukayese için iyi bir standard bulmayı, hem de ayrı ayrı yapılan tecrübelerin tefsirini güçleştiriyor. Bu sebepten dolayı Boğazda yapılan gözlemlerin aralarında uzun zamanlar olan tek fakat fazla doğru olmasından ziyade çabuk olmasına önem vermek lâzımdır. Onun için kullanılan usul ve aletlerin bu işlerde çok mühim rolü vardır, hatta hidrolojik araştırmalarda aletler, meselenin hallinin dayandığı en mühim âmildir.

Burada kullandığımız aletlerin teferruatından bahsetmeyeceğiz, çünkü bu iş evelce (Ulliyott ve Ilgaz 1942) yapılmıştır. Yalnız şunu söylemek icab ediyor: Kullanılan alet, elektrik esaslarına dayanmakta ve dipden bir kaç metre yukarıya kadar bütün derinliklerde suyun sıcaklık ve tuzluluğunu anî denecek kadar kısa bir zamanda ölçebilmektedir.

Bu suretle gözlem yapılan bir noktada sıcaklık ve tuzluluk anî olarak ölçülebildiği gibi seri halinde bir kaç noktada alınan ölçüleri de 15 ilâ 20 dakika içinde bitirmek mümkün oluyor. Bu sayede herhangi bir serideki ölçülerin mukayesesine imkân hasıl olmuştur. Boğazdaki su hareketlerine ait her hangi bir ipotezin coğrafya ve iklim âmillerini en geniş bir ölçüde hesaba katması lâzımdır. Boğaz; Karadeniz - İstanbul boğazı - Marmara denizi - Çanakkale boğazı - Akdeniz sisteminin bir parçasıdır ve buradaki su akıntılarına, bütün sistemin kapladığı alanda

engel olacak bir şey bulunmamaktadır. Boğaz Karadeniz su toplama alanının tek ağzı olduğundan Karadenize etki yapan meteorolojik âmil-ler Boğaza da otomatik olarak tesir ederler (İlgaz, 1944). Aynı zamanda Boğazdan çıkan net su miktarı Karadeniz havzasına yağışlarla gelen su-yun tebahhur eden miktarından geri kalan suya eş olmalı, ve bizim ipo-tezimiz de bu kıymete miktar ve evsaf bakımından uymalıdır.

Boğazdaki suların muvazenesi:

Boğazdaki sular meteorolojik durumlardan çok müteessirdirler. Bu durumların en mühim ikisi rüzgârın şiddeti ve doğrultusudur ki bunlar da Karadenizle doğu Akdeniz durumuna dayanırlar. Weick-mann (1922) bu iki alandaki basınç sistemini anlatmıştır. Bundan baş-ka Kendrew'in (1927) bu mevzu hakkındaki yazılarından da istifade ettik. Umumî durum belki şu şekilde hulâsa edilebilir.

Yaz müddetince batı Karadenizde ve Balkan yarımadasının kuzey kısımlarında nisbeten yüksek basınç ve güney doğu Akdenizde bir sik-lon alanı vardır. Arada kalan, Boğazı da içine alan, yüksek yerlerde ekseriya kuvvetli kuzey rüzgârları hüküm sürer. Philippon (1904) «Yaz Etesien rüzgârlarının doğrultusu sabittir, fakat bunlar ekseriya o kadar kuvvetli olurlar ki küçük tekneler bu rüzgârlara karşı kuzeye gidemezler» diyor.

Aynı umumî basınç durumu kışın da mevcuttur, fakat Adriyatik denizinden ve batı Akdenizden siklonlar Boğaz alanına yaklaşır. Kendrew (1927) e göre, Anadolu çok defa Adriyatikten gelen siklonla-rın ikiye bölünmesine sebep olur ve bunların biri daha kuzeye giderek kışın çok seyrek olmayan güney rüzgârlarını meydana getirir.

Kandilli Rasathanesi müdürü Profesör Fatin Gökmen'e ve oğlu Bay Tarık Gökmen'e araştırmalarımız müddetince rastlanan meteoro-lojik durumu aydınlatma hususundaki yardımlarından çok minnettarız. Rasathanede tutulan kayıtların Boğaz alanındaki iklim şartlarını an-lamamıza çok yardımı dokunmuştur. Bizim noktai nazarımızdan, Bo-ğazdaki akıntılara en fazla tesir edenler, Boğazın boyunca her iki yön-den gelen rüzgârlardır. Bunlar Boğazdaki sulara yaptıkları tesirlere göre üç kısma ayrılırlar.

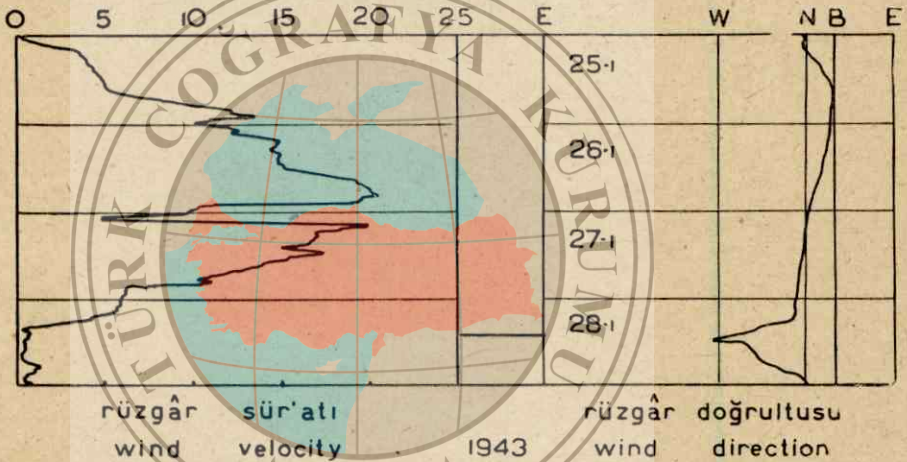
1 — Birkaç gün süren ve hızı saniyede 10 metreden fazla olan kuvvetli kuzey fırtınaları.

2 — Birkaç gün süren ve hızı saniyede 10 metreden fazla olan kuvvetli güney fırtınaları.

3 — «Normal durum»: Bütün yıl içindeki durumların 50% sini tutan, saniyede 2-9 metre hızla esen kuzey rüzgârları.

Kuzey fırtınaları:

Yıllık araştırmalarımız esnasında müstesna denilebilecek 4 kuzey fırtınası vukubulmuştur. Bu 4 fırtına sırasında Boğazın dibinde bulunan çok tuzlu su tamamiyle Boğazdan atılmış ve yerini Karadenizden gelen sular doldurmuştur. Bir fırtına için meteorolojik durum (Şekil 1) de, bizim kayıtlarımız da (Şekil 2) de gösterilmiştir. 1943 Temmuzunda vuku bulan fırtınaya ait teferruat Türk Coğrafya Dergisinin gelecek sayısında çıkacak başka bir yazıda (Hgaz 1944) de belirtilmiştir.

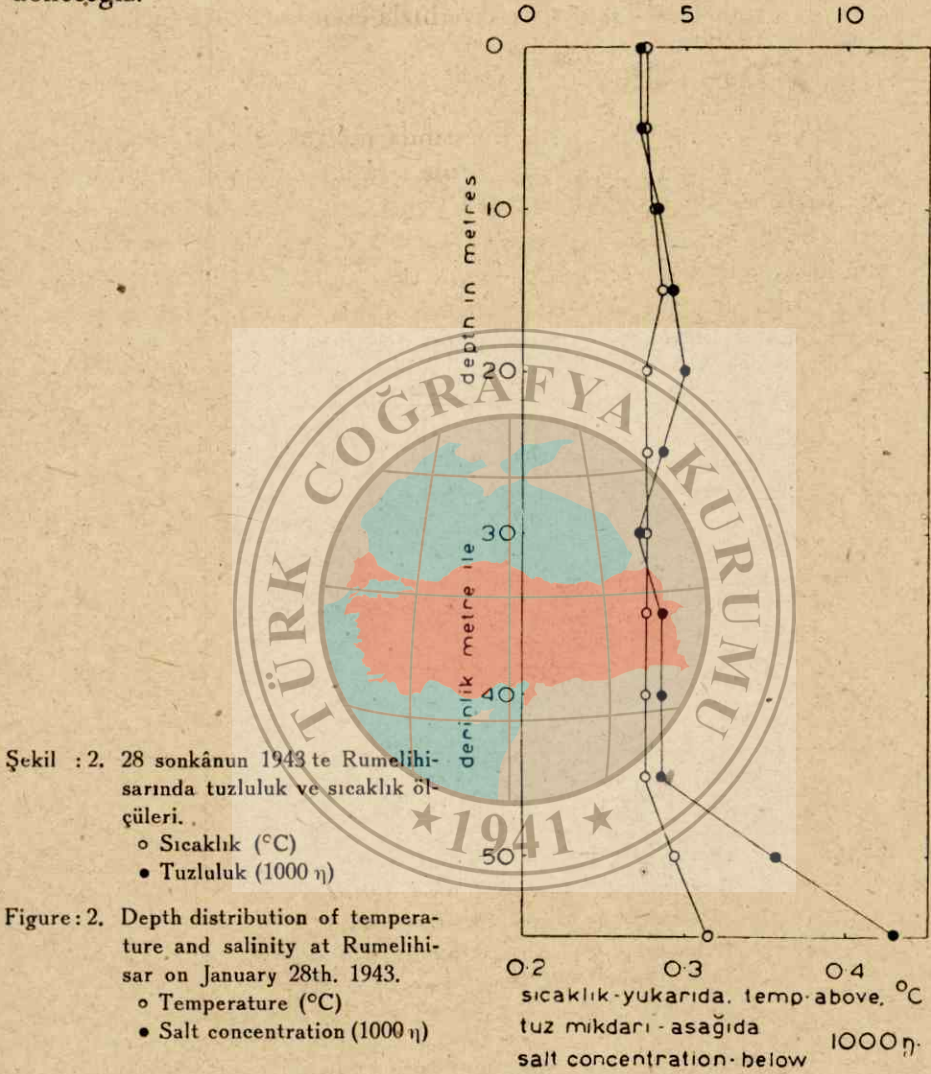


Şekil : 1. 1943 sonkânında bir kuzey fırtınası esnasında meteorolojik durum. Bu fırtınada «balık kırğını» olmuştur. Ortadaki ufki çizgi müşahedelerin yapıldığı zamanı göstermektedir.

Figure : 1. Meteorological conditions during a northerly storm during January, 1943. During this storm a «balık kırğını» took place. The central horizontal black line shows the time at which observations were made.

Boğazdaki çok tuzlu Marmara sularının böyle kovulması, bu geçitte vuku bulan olaylar hakkındaki bilgimize önemli bir ilâvedir. Makaroff'un (1885), eğer Karadenizin seviyesi 80 santimetre yükselirse Marmaradan gelen suların Boğazdan geri atılacağını söylemesi doğru bir olaya işaret eder. Makaroff böyle bir olayın vakit vakit vuku bulmakta olduğundan hiç bahsetmemiştir. Kuvvetli kuzey rüzgârlarının Boğaz oluğu dibinde bi-

riken bu ağır suları kovdukları hakikati, Boğazdaki suların muvazenesinin zannedildiği kadar basit olmadığını gösteriyor. Bu noktaya sonra tekrar döneceğiz.

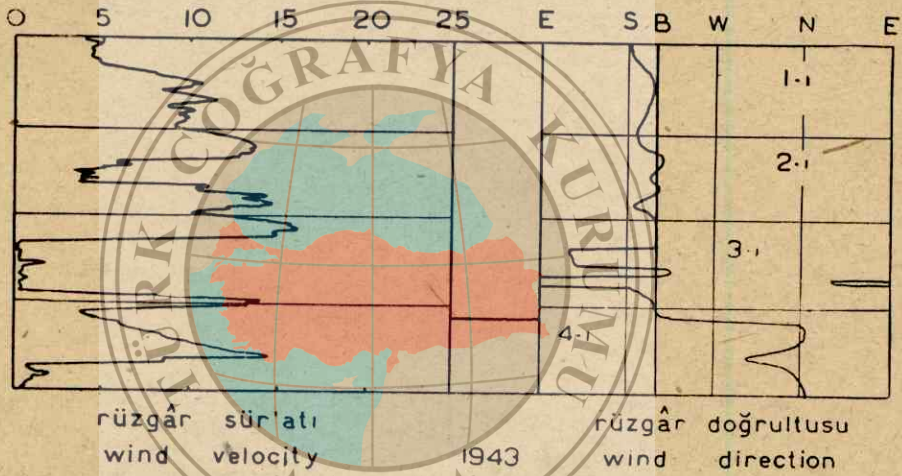


Kışın Boğazın dibinde bulunan çok tuzlu suların geriye kovulmasının önemli biolojik neticeleri olur; çünkü o sırada Boğazda bulunan muayyen bazı balıklar sıcaklıkta yahut tuzluluktaki âni değişiklikten çok çabuk müteessir olurlar. Burada âni tuzluluk ve sıcaklık değişikliklerinden hangisinin «balık kırgını» na sebep olduğunu münakaşa etmek fikrinde

değiliz, fakat balıklar üzerindeki bu fizyolojik tesirin, her vakit alt akıntı sularının Boğazdan kovulduğu zamanlarda olduğunu kaydetmek arzu-sundayız. Bu iki olay arasında bir bağıllık olduğuna şüphe yoktur.

Güney fırtınaları :

Balıkçılar sert güney fırtınalarının Boğazdaki akıntıların doğrultu-sunu değiştirdiğini, yani her vakitkinin aksi olarak güneyden kuzeye doğru bir akıntı meydana getirdiğini bilirler. Böyle aksi yöne giden akıntının özel adı «orkoz» dur. Geçen yıl içinde bu olay iki defa vukua geldi ve biz ancak bunun birinde gözlem yapmak fırsatını bulduk (4 ikinci kânun 1943); yıl içinde ikinci orkoz da Mayısın 9 unda vuku bulmuştu. Böyle

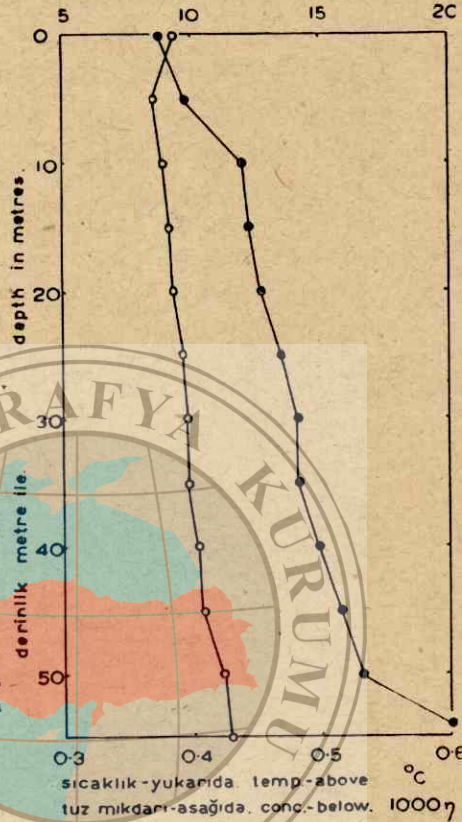


Şekil : 3. 1943 sonkânunda bir güney fırtınası esnasında meteorolojik durum. Ortadaki ufki çizgi müşahedenin yapıldığı zamanı göstermektedir.

Figure : 3. Meteorological conditions during a southerly storm during January, 1943. The central horizontal black line shows the time at which the observations were made.

bir fırsatta Marmara sularının Karadenize aktığına şüphe yoktur, fakat buna rağmen tuzluluk grafikleri oldukça hayret verici durumlar arzettekendirler. Yüzey sularında tuz miktarı normal zamanlara nisbetle artıyor, fakat aşağıdaki suların tuz miktarı, normale nazaran azalıyor. Bundan şu sonuç çıkmaktadır ki, orkoz olduğu vakit bile çok tuzlu sular Karadenize girmemektedir. Bunun sebebi, hem çok enteresan hem de beklenmedik bir şeydir. Bu meseleyi de Derginin gelecek sayılarında

neşredeceğimizi ümit ediyoruz. Her halde, bu nisbeten düşük tuz kıymeti, Merz ve Möllerin düşündüklerinin tam aksidir. Orkoz olduğu bir



Şekil : 4. 4 sonkânun 1943 te bir güney fırtınasından sonra Rumelihisarı'nda sıcaklık ve tuzluluk durumu.

- ° Sıcaklık (°C)
- Tuzluluk (1000 η)

Figure: 4. Depth distribution of temperature and salinity at Rumelihisar, on January 4th, 1943, after a southerly storm.

- ° Temperature (°C)
- Salt concentration (1000 η)

sıcaklık - yukarıda temp - above °C
tuz miktarı - aşağıda. conc. - below. 1000 η

gün aldığımız sıcaklık ve tuzluluk ölçüleri ve meteorolojik durum (Şekil 3 ve 4) de gösterilmiştir.

Normal hava durumu:

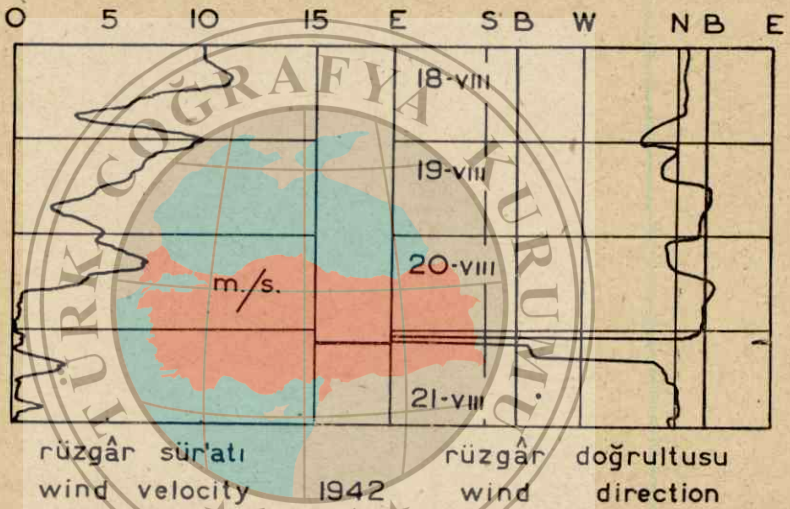
Fazla sert kuzey rüzgârının çok tuzlu ağır suyu Boğazdan çıkardığını ve sert bir güney rüzgârının da Karadenizden Boğaza suların girmesine engel olduğunu gördük. Bu iki çeşit suyun aynı zamanda Boğaza girebilmesi için çok hassas bir muvazene mevcut olması lâzım gelir.

Saniyede 2-9 metre sür'atle esen ve yaklaştırma NNW ile NE arası doğrultusundan gelen rüzgârlı durum Boğazda normal hava durumu olarak anlatılmıştır. (Ulliyott ve Ilgaz, 1943, 2.) Kandilli kayıtlarının incelenmesi ile, bu durumun senenin 50 % sini kapladığı anlaşılmaktadır.

Onun için bu gibi durumlara «tipik hava durumu» diyebiliriz. Böyle zamanlarda Boğaz oluğunda biri az tuzlu yüzey tabakası, öteki çok tuzlu alt akıntı olmak üzere iki çeşit su bulunur.

Bu durum en kolay (Şekil 5 ve 6) dan anlaşılır. Meteorolojik durum, tuzluluk ve sıcaklığın derinliğine göre dağılışı, yılın başka başka vakitleri için çizilmiş olan bu şekillerde gösterilmiştir. Derindeki sularla yüzey sularını ayıran hat oldukça keskindir, ve 35-40 metre arasında bulunur.

Bu ayrılık yüzeyi, yani kısaca 35-40 metre derinlik, yalnız bizim standart tecrübe yerimiz olan Rumelihisarına aittir. Boğazın boyunca bu sathın

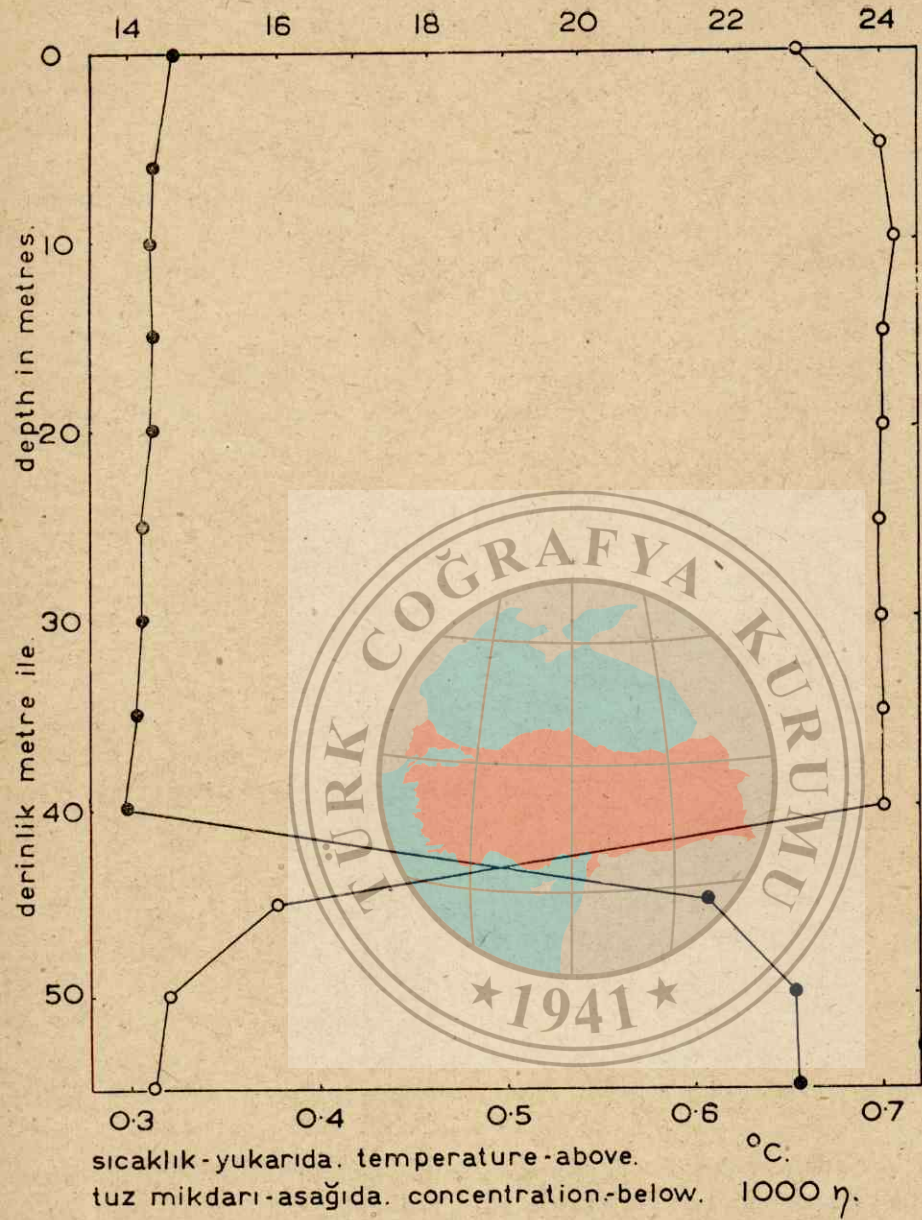


Şekil : 5. 21 ağustos 1942 normal hava esnasında meteorolojik durum. Ortadaki ufki çizgi müşahedenin yapıldığı zamanı gösteriyor.

Figure: 5. Meteorological conditions during normal weather, on August 21st, 1942. The central horizontal black line denotes the time at which the observations were made.

derinliği değişir. Şekil 7 de normal havada yapılmış birtakım araştırmalardan alınan sonuçlar verilmiştir. Bu şekilde (binde 27 tuz miktarına eş olan 0.455 1000 η ünitesi) ayrılık yüzeyinin tuzluluğu diye kabul edilmiştir ve bu tuzluluk Boğaz boyunca hangi derinliklerde bulunuyorsa işaret edilmiştir. Noktaların yaklaştırma bir çizgi üzerinde bulunduğu ve bu çizginin kuzeye doğru eğimli olduğu belirtilmiştir.

Bizim ipotezimize göre yüzeyin kuzey ucu çok önemlidir; çünkü, bu ayrılık yüzeyinin uzatıldığı takdirde kuzey eşığının zirvesinden birkaç



Şekil : 6. 21 ağustos 1942 de Rumelihisarı'nda tuzluluk ve sıcaklık ölçüleri.

○ Sıcaklık (°C)

● Tuzluluk (1000 η)

Figure : 6. Depth distribution of temperature and salinity at Rumelihisar on August 21st, 1942, during normal weather.

○ Temperature (°C)

● Salt concentration (1000 η)



Şekil : 7. Boğaz'da tuzluluk eğimi. Yuvarlaklar, Boğaz boyunca 0,485 (1000η) ünitesinin (binde 27) bulunduğu yerleri, noktali çizgide ortalama tuzluluğun yerlerini temsil ediyor. Mesafeler kuzey eşiginden itibaren ölçülmüştür.

Figure : 7. The salinity slope in the Bosphorus. The circles indicate the depths at which a salinity of 0,485 (1000 η) units (27 pro mil) is found at different places along the length of the Bosphorus. The dashed line represents the average salinity slope. Distances are measured from the northern threshold.

metre aşığısında denizin dibine vardığını görürüz. Eşiğin üzerinde suyun az tuzlu olduğu bundan anlaşılır. Bu hakikat de Merz ve Möllerin dediklerine tam bir tezat teşkil eder.

Netice olarak karşılaştığımız durum şu şekildedir:

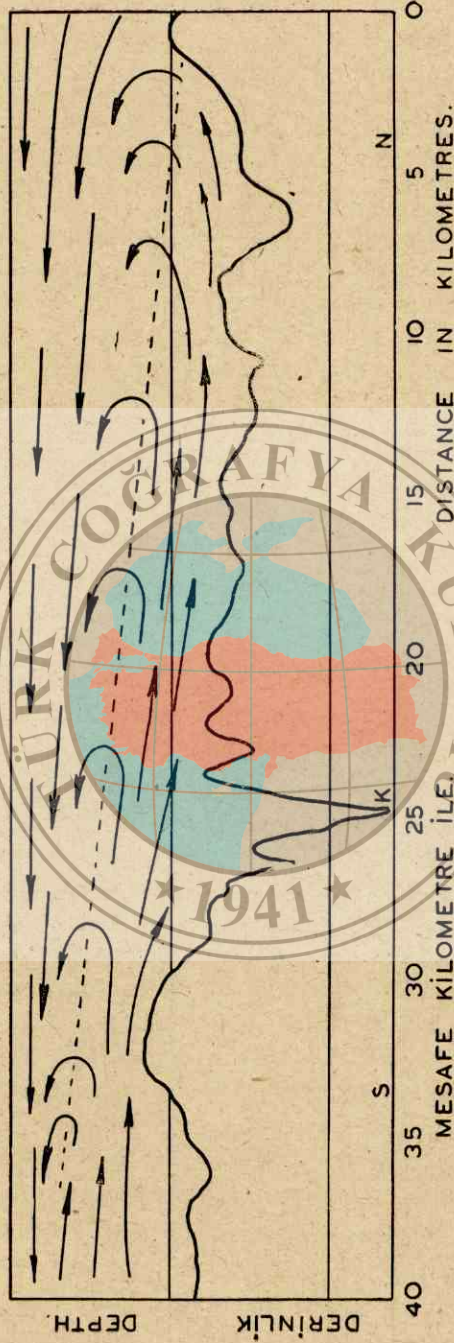
Normal hava şartları altında, dipteki çok tuzlu sularla yüzeydeki az tuzlu sular arasında keskin bir ayrılık yüzeyi vardır. Bu yüzey kuzeye doğru hafif eğimli olup kuzeydeki eşikle birleşir. Bu hakikatlere alt ve üst tabakalardaki suların hareketleri hakkındaki malûmat ta eklenebilir. Makaroff (1885) Wharton (1886) ve Merz (1928) araştırmalarında, bilinen üst akıntıdan başka bir de alt akıntının (kanal) varlığını belirtmişlerdir.

Böylelikle, yeni ipotezimizi ortaya koyacak bir duruma geldik. Bu ipotezde tuzluluk eğimine, suların hareketlerine kuzey eşiğinin varlığına ve başka bütün elemanlara yer verilmiştir.

Boğazdaki su hareketleri üzerinde yeni ipotez:

Suların hareketini izah etmek istiyen yeni ipotez kolayca ifade edilebilir. Suların Marmara denizinin derin tabakalarından ayrılıp Üsküdarla Dolmabahçe arasındaki eşikten geçerek Boğazın dibini takip ederek kuzeye doğru aktığını farzedelim. Bu suların üzerinde de aksi yönde akan *türbülâns*'lı (turbulent) üst akıntı vardır. Her iki tabaka arasındaki ağırlık farkına rağmen ayırma yüzeyi civarında karışma oluyor ve üst akıntının sulariyle karışan alt akıntı suları tekrar Marmaraya sürükleniyorlar. Bunun bir sonucu olarak alt akıntının hacmi kuzeye doğru azalıyor ve devamlı bir şekilde üst akıntıya karışarak kayboluyor. Bu kaybın yeri, bir taraftan Marmara denizinin dibinden devamlı olarak gelen sularla kapatılıyor. Bu şekilde kayıpların yerine gelen sular da alt akıntıyı meydana getiriyorlar. Böylece Marmaradan gelen sular, Karadenizden gelen sulara karışarak tekrar Marmaraya taşınıyor. Binaenaleyh Boğazdaki olayların yarı kapalı bir devre takip ettiklerine inanmak yanlış olmaz. Karadeniz suları kuzey ucundan girip, alt akıntı sulariyle karışıp Marmaraya gider ve orada yüzey sularını meydana getirirler. Ağır, çok tuzlu sular da Marmaradan Boğaza girip kuzeye doğru aktıkça üst akıntıyla karışarak hiçbir kısmı Karadenize varmadan tekrar Marmara denizine sürüklenir.

İpotezdeki umumî fikir, (Şekil 8) den kolayca anlaşılabilir. Bu şekilde ölçeğe göre çizilmiş Boğazın boyuna profili üzerinde olayların seyri gösterilmiştir.



Şekil : 8. Boğaz'ın boyuna profili. Oklar suların hareketlerini göstermektedir. Derinlikler ortalamadır. Mesafeler kuzey eşğinden itibaren ölçülmüştür.

Figure : 8. A longitudinal section of the Bosphorus, with arrows indicating the movements of the waters. Depths only very approximate. Distances in kilometres from the northern threshold.

İpotezimize yardımcı deliller:

Fikirlerimize destek olan dört türlü delil vardır:

- 1 — Boğazda yüksek *türbülâns* derecesi.
- 2 — Karadenizden Marmara denizine doğru yüzeyde tuzluluğun artması.
- 3 — Boğazın hidrolik bir modelinde yapılan ve ipotezimizin icabettirdiği duruma tamamiyle uyan denemeler.
- 4 — Azak denizindeki durumdan alınan deliller.

Bu deliller teker teker ele alınarak incelenecektir.

Boğazdaki türbülâns (turbulence):

Türbülâns coğrafi hidrolojide çok az bahsi geçen bir konudur. Boğazdaki öneminden dolayı burada üzerinde biraz durulacaktır. Türbülâns'lı (turbulent) bir akışın esas karakteri, su parçacıklarının birbirlerine paralel bir şekilde yer değiştirdikleri öbür çeşit, yani safiha halindeki akışla arasındaki farkı belirterek anlaşılır. Türbülâns'lı akışta su parçacıkları **birtakım karışık dolaşık çizgiler** takip ederler. Binaenaleyh türbülâns'lı akışın yegâne vasfı gayrimuntazamlığıdır ve türbülâns'lı akış olan her hangi bir suda her yöne giden su parçaları bulunur. Bir boru veya oluktaki karışma ekseriyetle türbülâns derecesine dayanır, onun için teorimizi sağlamlaştırmak için Boğazdaki türbülâns derecesini bulmalıyız.

Bazı kimselerin zannettiklerinin aksine olarak, büyük girdapları ve anaforları olan sularda türbülâns'lı akış olmayabilir ve aynı zamanda çok sakin görünen ve düzgün akan sularda da türbülâns'lı akış olabilir. Şimdi karşılaştığımız şey, Boğazdaki türbülâns derecesini önce nasıl bulacağımızı tarif edip sonra hesap etmektir.

Hareket eden bir su kütleinde türbülâns derecesini bulmak için üç metot vardır:

- 1 — Reynolds rakamı diye bilinen kıymeti hesap etmek.
- 2 — Türbülâns mübadele emsalini bulmak.
- 3 — Su parçacıklarının lüzumsuz yaptıkları dolaşık hareketleri, ortalama ileri sür'atlerinin bir yüzdesi olarak göstermek.

Biz yalnız ilk iki kıymetle alâkadar olacağız, çünkü üçüncü usulden hoşnutluk verici bir netice almak, görüldüğünden çok güçtür.

1. Boğazda Reynolds Rakamı.

Reynolds rakamı diye bilinen kıymet, esasen atalet (*inertia*) kuvvetleriyle friksiyon kuvvetleri arasında bir orandır, ve formülü şu şekildedir:

$$R = \frac{LV\rho}{\mu}$$

Bu formülde R Reynolds'un rakamı, V akışın hızı, ρ suyun yoğunluğu, μ suyun lüzuciyet emsali, L de kuturdur ve üzerlerinde daha ziyade tecrübe yapılmış olan borular için kabul edilmiştir. pılmış olan borular için kabul edilmiştir.

Yukarıda anlattığımızı göre, akışın hızındaki artış, yükseliş Reynolds rakamını yükseltir, ve gene oluğun genişletilmesi de Reynolds rakamını arttırır. Bu değişimin önemi çoktur, çünkü rakam yükseldikçe muvazene bozulur ve türbülâns'lı akış meydana gelir. Türbülâns hakkındaki bilginin temelini atan İngiliz hidrolojisti Osborne Reynolds (1883), rakamın kıymeti 2000 fazla olursa, akışın türbülâns'lı olacağını göstermiştir.

Eğer Boğazdaki Reynolds rakamının 2000 i geçtiğini gösterebilirsek Boğazda bu tip akış olduğuna inanabiliriz. Boğazdaki Reynolds rakamını bulmak için üst akıntıyı ayrı ele almak doğru olur. Üst akıntının iki yanı kaya, altı çok tuzlu ağır su, üstü hava diye kabul edebiliriz. Araştırmalarımızın çoğunu yaptığımız Rumeli Hisarında üst akıntının yaklaştırma genişliği 800, derinliği de, 40 metredir, burada akıntının hızı normal havalarda saniyede 80 santimetredir. Fakat mühendislik notları böyle karışık durumları aydınlatmıyacağından bu olayı basitleştirmek icab ediyor. Reynolds rakamının en küçük yaklaştırma bir kıymetini bulmak için, üst akıntının kutru 40 metre olan bir boru içinde saniyede 50 santimetre süratle aktığını kabul edelim. Bu iki tahmin de, rakamın esasından küçük çıkmasına sebep olacaktır. Bu esas üzerine:

$$V = \text{saniyede } 50 \text{ santimetre}$$

$$L = 4000 \text{ santimetre}$$

$$\rho = (10^\circ\text{C için}) 1.0135$$

$$\mu = (10^\circ\text{C için}) 0.755$$

İldüğüne göre, Reynolds rakamı yaklaştırma 300,000 çıkıyor. Bu kıymet herhalde, 2,000,000 dan fazla tahmin edilen esas kıymetin bir kesrini temsil ediyor. Şu halde, Boğazın sularında türbülâns'lı akış vardır ve ipotezimizde türbülânsın mübadele emsalinin icab ettirdiği gibi karışma her halde mevcuttur.

2. Türbülâns Mübadele Emsali (Turbulent Exchange Coefficient)

Evvelki kısımda Boğaz sularının çok türbülâns'lı olduğunu gördükse de bundan başka bu türbülâns'lı akışın karışmayı ne kadar ileri götürdüğünü bulmak lâzımdır. Bu da türbülâns'lı akışta suların ne kadar yer değiştirdiklerini belirten türbülâns mübadele emsalinin kıymetini bulmakla olur. Mühendislerin ilgilendikleri fizikî sistemlerin, bizim âlâdar olduğumuzun çok daha basitleştirilmiş bir şekli olduğunu tekrar önemle kaydedelim. Matematik bir metodu tabiat içinde sistemlerde kullanabilecek bir hale getirirken her vakit fazla basitleştirmek tehlikesi mevcuttur.

Türbülâns mübadele emsâli, molekül hareketleri sayesinde bir sıvının diğer bir sıvı içinde yayılmasını izah eden intişar emsaline çok benzer. Boğazda bilhassa önemli olan bir hal, sulara erimiş maddelerin başka sıvılarda yayılmasını idare eden bağıllık şu şekilde gösterilmiştir.

$$C_{xt} = C_0 \left[1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\zeta} e^{-\frac{1}{4}\zeta^2} d\zeta \right]$$

Burada $\zeta = \frac{x}{2\sqrt{kt}}$

C_0 eritici içinde, o seviyesinde sabit olarak idame edip duran konsantrasyon, C_{xt} , o dan x mesafe uzakta ve yayılmaya başladıktan t zaman sonra varılan noktadaki konsantrasyondur.

Bu formül türbülânsa şu şekilde tatbik edilebilir: Türbülâns mübadelesi için aynı muadele doğrudur; yalnız k yerine türbülâns mübadelesi olan A konulmalı ve diğer durumlar da uygun olmalıdır (Schmidt 1925, Grote 1934). Bu durumlar sabit konsantrasyonlu bir seviyenin idamesi ve bu seviyeden erimiş maddenin sâf eritici ile karışmasıdır. Eğer Boğaza giren Karadeniz suyunu eritici diye ve ayrılık yüzeyini de sabit konsantrasyonlu bir seviye diye kabul edersek (x) i bu seviyeden yukarıya doğru ölçebiliriz. Zaman âmili, hayalî dik bir su sütununun Karadenizden girip Marmaraya çıktığı vakte kadar geçirdiği olayları takip edersek ilâve edilmiş olur. Herhangi bir seviye (x) de (t) uzunluğunda bir zaman zarfında konsantrasyon'un artışını tahmin edebiliriz. Normal havadaki hızlardan daha düşük hızlı durumlar için yapılan hesaplarda A için 150 - 250 arasında kıymetler bulunmuştur. Bunlar Schmidt'in açık okyanuslardaki türbülâns için elde ettiği sonuçlara uymaktadırlar ve 110-220 kıymetinde A için saniyede 5-7 metre hız vermektedirler.

Bu böyle olduğu için, şimdi Boğazda türbülâns derecesinin çok yüksek olduğunu söyleyecek bir vaziyeteyiz.

Boğazın yüzey sularında tuzluluk eğimi:

Türbülâns ve onun bir sonucu olan karışma olayı üzerinde duyulabilecek şüphelerin, bu kısımda anlatılacak delillerin ışığı altında artık kaybolması icabeder. Muvazene temin etmek isteyen kuvvetler olduğu için dik tuzluluk eğimi olan her yerde türbülâns azalır, fakat buna rağmen bizim vereceğimiz deliller, çok türbülâns mübadelesi olduğunu ispat ediyorlar. Bu kısımda bahsedilecek şey, Boğazın yüzey sularında Karadenizden Marmara denizine doğru tuzluluğun artması hakikatidir.

Fakat, bu işi de karıştıran bazı âmiller vardır ve bunların en başında Boğaz alanında havanın kararsızlığı gelir. Boğazdaki karışmanın miktarı, rüzgârın hızına dayanan üst akıntı hızına bağlıdır. Bundan dolayı, doğru bir tuzluluk eğimi bulabilmek için, rüzgârın, sular Karadenizden Marmara denizine gidinceye kadar hızını değiştirmemesi icab ederdi. Hava durumundaki ufak bir fark karışmaya da tesir ettiğinden, tuzluluk eğimini değiştirir.

Yüzey sularında tuzluluk eğimini gösteren 4 grup sonuç vardır, bunların ikisi kendi gözlemlerimizden, ikisi de Merz'in kayıtlarından alınmıştır. Bu dört grup (Şekil 9) da gösterilmiştir. Merz'in iki kaydı ve bizim 28 İlkânun 1942 de/yaptığımız seri, akıntı ile beraber giden bir sandaldan alınmıştır. Bu üçünde işaret edilmiş olan sonuçların muntazam bir seri teşkil ettiklerine nazarı dikkati çekmek isteriz. Fakat dördüncü (14 İlkânun 1942) seri hepsi Boğaz boyunca aynı zamanda alınmış sonuçlardan müteşekkildir. Kavaklardan Rumeli Hisarına kadar tuzlulukta bir artış ve sonra âni bir iniş vardır. Bundan sonra gene Bebekten güneye doğru devamlı bir artış göze çarpar. Meteorolojik kayıtlar, eğimdeki bu kesikliğin meteorolojik durumdaki bir değişikliğe tekabül ettiğini gösteriyor. Binaenaleyh, bu üçüncü seriye her ikisi aynı meteorolojik duruma ait iki ayrı grup gözü ile bakabiliriz.

Sular Karadenizden Marmaraya doğru aktıkça tuz miktarının nasıl yükseldiğini şekil çok iyi gösteriyor. Tabii, bu yükseliş Karadenizden gelen suların derindeki daha tuzlu suyla karışmasından ileri geliyor. Bu şekilde, faraziyemizin icabettirdiği gibi, Marmara denizinin derinlerinden Boğaza giren suların üst akıntıyla karışarak Marmara denizinin yüzey tabakasına gittiği isbat edilmiş oldu. Filhakika, Boğazdan Marmaraya giden suların yüzde kaçının evvelce Marmaradan geldiğini yak-

laştırma hesab etmek kolaydır. Kayıtlar 14 İllkânun 1942 de tuz miktarının Kavaklarda 0.313 1000 η ünitesi, Sarayburnunda da 0.341 1000 η ünitesi olduğunu gösteriyor. Bu iki kıymet arasındaki fark, yaklaştırma 0.030 1000 η ünitesi, tabii karışmadan meydana geliyor. O günkü araştırmalarımız Rumeli Hisarında alt akıntının tuz miktarının 0.615 1000 η ünitesi olduğunu gösteriyor. Demek ki Karadenizden gelen suyun tuzluluğu ile Marmaranın derinlerinden gelen suyun tuzluluğu arasında 0.30 1000 η ünitesi kadar bir fark vardır. Binaenaleyh Boğazdan Marmaraya giden suların 90% ı Karadenizden, 10 % u da Marmaranın derin tabakalarından geliyor. Bu 10% kıymetinde gene aşikâr sebeplerden dolayı gerçeğe nazaran cüzî bir tutardır.

14 İllkânun 1942 tarihine kadar geçen üç gün zarfında normal hava şartları, yani saniyede 2-5 metre hızla esen bir rüzgâr vardı, bizim sonuçlarımız da bu durumda Marmaradan gelen alt akıntının, Boğazdan çıkan suların 10% u olduğunu gösteriyor. Bu sonuçlarımızı karşılaştıracak rakamlar sade Merz ve Möllerin kayıtlarında mevcuttur. Onlar saniyede 5-10 metre hızla esen rüzgârlarda alt akıntının üst akıntıya nisbetini 21420:2660, rüzgâr hızı saniyede 3-5 metre olduğu sırada ise 16310:3990 olarak veriyorlar. Bu kıymetler her halde Merz-Möller teorisinin istediği gibi, büyük bir alt akıntının varlığı lehindedirler.

Herhalde, normal hava şartları altında Boğaz oluşuna Marmaranın derinlerinden çok su giriyor ve böylece alt akıntı meydana geliyor. Öyleyse, kuzeye doğru bir alt akıntı olduğundan, fakat Karadenize çıkmadığından emin olabiliriz.

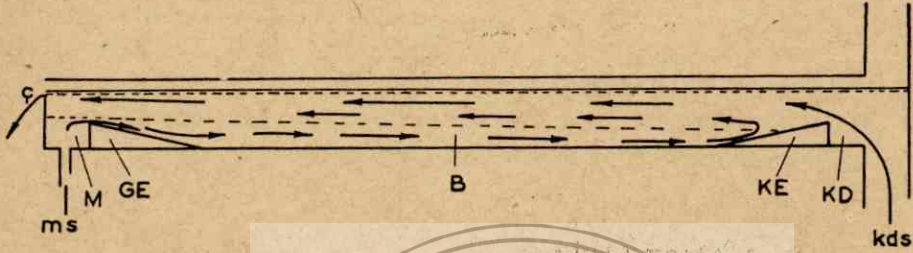
Boğazın hidrolik bir modelinde deneyler:

Buraya kadar söylediğimiz bütün delillerin hipotezimizin lehinde olduğunu görmekle beraber bunların hidrodinamik imkânlara uyup uyumadığından bahsetmedik. Tabii durumlar pek karışık olduğundan bunlara matematikle kesin bir sonuç vermek mümkün değildir. Onun için en doğru bir hareket, Boğazın basitleştirilmiş bir modelini yapmaktır.

Robert Kolejin Hidrolik Laboratuvarında Boğazın dinamik bir modeli inşa edilmiştir. Bu tecrübelerimizi laboratuvarında yapmaya imkân bulabildiğimiz için Profesör Bliss'e çok müteşekkirimiz. Model iki yanı cam kaplı derin ve uzun bir oluktan meydana getirilmiştir.

Sahillerin şeklini ve derinlik teferruatını bu modelde göstermek lüzumlu görülmemiştir. Yalnız kuzey eşığıyle Dolmabahçe-Üsküdar arasında eşik bu modele ilâve edilmiştir. Bu tecrübeden maksadımız bir olukta aynı zamanda aksi doğrultuya giden iki akıntının mevcut olabi-

leceğini ispat etmektir. Oluğun Karadeniz ucu diyeceğimiz tarafından gelen âdi tatlı suyun miktarını büyük bir muslukla idare etmek mümkündür. Marmara denizini temsil eden diğer tarafında da büyük yoğunluğu olan suların girmesi için oluğun dibiyle bir seviyede hususi bir boru vardır. Bu boru tabii Dolmabahçe ile Üsküdar arasındaki sırtın Marmara tarafındadır. (Şekil 10 ve levha IX) oluğun tecrübe için hazırlanmış



Şekil : 10. İstanbul Boğazı modelinin plânı.

- B «Boğazın» uzunluğu.
 ç «Boğazdan» gelen suların çıktığı yer.
 GE «Güney eşiği».
 KD «Karadeniz».
 kds Tuzsuz suyun («Karadeniz suyu») modele girdiği yer.
 KE «Kuzey eşiği».
 M «Marmara Denizi».
 ms Tuzlu suyun («Marmara suyu») modele girdiği yer.

Figure: 10. Plan of the model of the Bosphorus.

- B Length of the «Bosphorus».
 ç Outlet for water from the «Bosphorus».
 GE «Southern threshold».
 KD «The Black Sea».
 kds Inlet for non-salty water («Black Sea water») to produce the upper current.
 KE «Northern threshold».
 M «Sea of Marmara».
 ms Inlet for salty water («Marmara water») to maintain the level in the space M.

durumunu gösteriyorlar. Tecrübe yapılırken şu yoldan gidilmiştir: ilkönce oluk tamamen terkos suyu ile doldurulur (iki çeşit su arasındaki tuzluluk farkının Boğazdakinin eşi olmasına dikkat edilmiştir) ve «Karadeniz» suyu kesilir, sonra «Marmara» suyu açılır ve oluğun "Marmara": ucuna evvelce ayrı bir depoda hazırlanmış koyu renkli sular gelir. Yavaş yavaş yükselen bu renkli su güney eşiğinin üzerinden geçip iki eşik arasında bulunan "boğazın" dibini kaplamaya başlar.

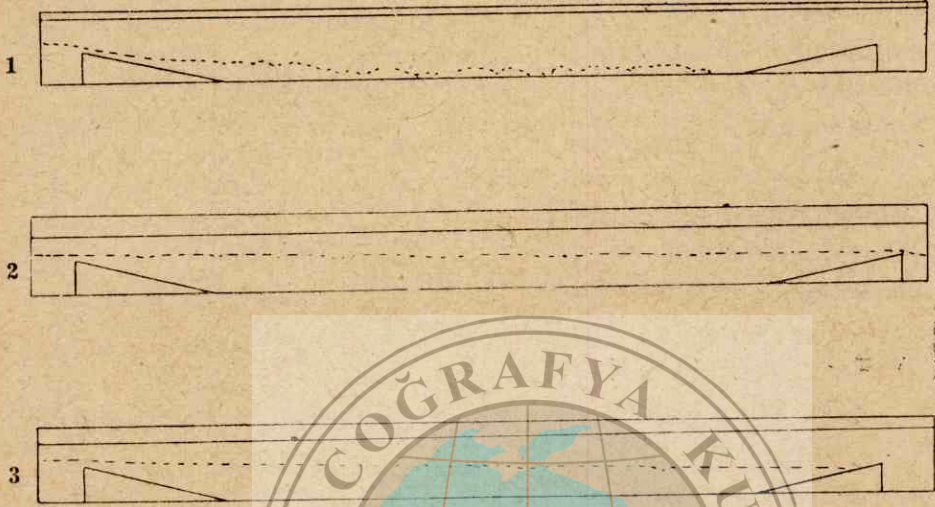
Eğer bu ağır suyun oluşa girmeğe devamına müsaade edilirse, renkli suların kuzey "eşiğinin" öbür tarafına "Karadenize" atladığı da görülür. Fakat bu duruma varmadan "Karadeniz,, suyu açılıp ta hafif suların "Marmara,, ya gitmesine müsaade edilirse, ağır su hiç bir zaman kuzey "eşiğinin" üstüne çıkmaz ve dinamik muvazene durumu hasıl olur. Bu durumda seviyesi kuzey "eşiğinde" güneydekenden aşağıda olan, iki çeşit su arasında bir kesiklik yüzeyi belirir.

Bu dinamik muvazene esnasında suların hareketlerini, su içinde yüzen parçalar sayesinde takip etmek mümkündür. Güney eşiğinin üzerinden geçen koyu renkli Marmara suları, oluşun dibinde yavaş yavaş Karadenize doğru ilerlemiştir. Aynı zamanda üstündeki hafif su ile karışan renkli suların üst kısmı, bazen soluk bulutlar halinde görünerek tekrar Marmara ya götürülmüşlerdir. Kuzey eşiğine varıldığı zaman Marmaradan gelen bütün renkli sular geriye taşınırlar. İşte bu sayede, ayrılık yüzeyi eğimi, dinamik muvazene durumunda sabit bir seviyede durur. Bunun Boğaz için söylediklerimize uyduğunu tekrar etmeğe lüzumü görmüyoruz. Bu tecrübe Türk Fizikî ve Tabii İlimler Kurumunun Robert Kolejde Hidrolik Laboratuvarındaki hususî bir toplantısında teşhir edilmişti.

Tecrübenin kendisi bizim ipotezimizin lehindeki delillere çok önemli bir ilâvedir. Olukta başka durumlar da tesis etmek imkânı olduğu için bu önem bilhassa artar. Ağır suyun seviyesi eskisi gibi tutulup, Karadenizden çok su bırakılırsa, ağır renkli suların "Marmaradan" kuzeye doğru gitmek istedikleri halde yavaş yavaş "Boğazdan" kovuldukları görülür. Bu durum, Boğazın kendinde vuku bulan ve Karadenizden çok su gelmesine sebep olan kuzey fırtınaları esnasındaki eşizlilik durumunun aynıdır.

Diğer taraftan, eğer tecrübe esnasında "Karadeniz,, suyunun miktarı eksilirse, renkli suların "Karadenizi" "Boğazdan" ayıran eşiğin üzerinden atlamaya başladığı görülür. Böylece Marmara suyunun Karadenize çıktığını gösteren bir durumla karşılaşırız. Mamafih bu alandaki araştırmalarımız bunun çok seyrek olduğunu gösteriyor. Çünkü güney fırtınalar zarfında beliren, Boğaza Marmaranın derin tabakalarından suların girmesine otomatik bir şekilde mani olan ve oluk tecrübelerine sokulmayan bazı âmiller vardır. Biz bunlardan Derginin gelecek sayılarından birinde bahsedeceğimizi ümid ediyoruz.

(Şekil 11) bu üç durumu şeklen, (Levha X) da gene aynı durumları tecrübe sırasında alınmış fotoğraflarla aydınlatmaktadır.



Şekil : 11. Levha X a ait kopyalar.

1. Kuzey fırtınasını temsil eden durum. Süratli üst akıntı dipteki tuzlu suların hemen hepsini Boğaz'dan çıkarıyor.
2. Güney fırtınasını temsil eden durum. Derinlerdeki tuzlu sular kuzey eşiği üzerinden Karadenize akıyor.
3. Normal havada Boğaz'ın durumu. Kuzey ucu, kuzey eşiğinin tepesinden aşağıda bulunan dinamik tuzluluk eğimi gösterilmiştir.

Figure : 11. Companion tracings to plate X.

1. Condition representing a northerly storm. Strong upper current driving out nearly all the salty water from the depths of the Bosphorus.
2. Condition representing a southern storm. Salty water from the depths of the Bosphorus flowing over the northern threshold into the Black Sea.
3. Condition showing the state of affairs during normal weather. There is a dynamically maintained salinity slope, the northern end of which is below the apex of the northern threshold.

Bu kısmı sonuçlandırırken oluk tecrübelerinin ipotezimize çok emin bir mesnet teşkil ettiklerini beyan etmek isteriz.

Azak denizindeki olaylar:

Merz-Möllers teorisi ağır ve çok tuzlu suların devamlı bir şekilde Boğazdan Karadenize boşaldığını iddia ediyor. Eğer "Bu sular nereye

gidiyor?" şeklinde bir sorulacak olursa, bunların gayet geniş olan Karadenizin derinlerinde kaybolduğunu söylemek akla yakın görünür.

Fakat, eğer yukardaki gibi alt akıntının akıp kaybolmasına imkân vermeyen bir olukta böyle aksi yönde akan, iki değişik yoğunluktaki akıntının bulunduğu öğrenirsek, bu suale cevap verilmeden önce, durumun dikkatle tetkik edilmesi icap eder. Böyle bir hal Kerç Boğazı ile Karadenizden ayrılan Azak denizinde bulunmuştur. Kerç Boğazında en derin yer 8, Azak denizinde ise 13 metredir (Şekil 12). Krümmel (1907) aşağıdaki ilgi çeken bilgiyi vermektedir: "A. Loidis derinliği 7-8 metre olan Kerç Boğazının yüzeyden 5 metre derinlerine inen sularının Karadenize çıktığını ve aşağıdaki tabakaların da Azak denizine giren Karadeniz suları olduğunu bulmuştur. Azak denizinin tuzluluğu binde 10, Karadenizin binde 16-17 dir. Estuzluluk yüzeyi batıda doğudakinden daha derinlerde bulunur."



Şekil : 12. Azak Denizinin hidrografik hartası. Derinlikler metre ile. Ortadaki tesviye münhanisi derinliği 12,5 metreden az olan bir alanı çeviriyor.

Figure : 12. Hydrographic chart of the Sea of Azov, showing the depths, in metres. The central contour encloses an area which has a depth of less than 12,5 metres.

Demek oluyor ki, Kerç Boğazında da İstanbul Boğazında olduğu gibi iki akıntı vardır. Fakat alt akıntının Azak denizinde kaybolmasına imkân yoktur, çünkü bu denizin en göze çarpan bir karakteri, sığ olma-

sıdır. İÇeri giren suların yok olması, bunların ancak Don nehrinin ve kollarının getirdiği sularla karışarak tekrar Karadenize çıkması sayesinde mümkündür. Azak denizinde büyük miktarda karışma olduğu, nehir sularının tuzluluğu kuzeyde binde 7-10 a indirdiği yerlerden mâda, birçok yerlerde tuz miktarı binde 10,5 - 11,0 olan, tam eştuzluluk durumları bulan Wrangell ve Spindler (1890) tarafından gösterilmiştir. Sığlığından dolayı beklenmedik bir şey olmıyan, büyük ölçüde karışmayı, göstermeğe bu rakkamlar kâfidir.

Azak denizindeki durum oldukça açıktır. Tuzlu ve ağır Karadeniz suyu hidrostatik basınç farkı sebebiyle Azak denizine Kerç Boğazının dibini boyunca girmeğe çalışır. Aynı zamanda nehirlerle gelen sular dışarı Karadenize çıkmak ister. Fakat bu sular Azak denizinin derin olmamasından ve bu gibi hallerde rüzgârların karışmaya çok tesiri olduğundan, saf nehir suyu olmayıp Karadenizden giren sularla karışmış tuzlu su olarak çıkarlar.

Bu durum İstanbul Boğazındaki tam bir eşidir. Kerç Boğazındaki alt akıntı Azak denizinin sığlığı yüzünden ve İstanbul Boğazındaki alt akıntı ise kuzey eşığının mevcudiyet yüzünden biryere gidemezler. Bunların ikisi de üzerlerinde akan akıntıyla karışıp geri götürülürler.

Yeni ipotezin istediği durumlar:

Bu yazının son kısmında ipotezimizi destekliyen delilleri saydık. Fakat böyle bir ipotez için, bu alanın coğrafyası ve iklimi hakkında bir fikir edinmek lâzımdır. İşte bu kısımda bu gibi gerçeklikleri araştıracağız. Tetkik etmek istediğimiz üç durum şunlardır:

1. Karadeniz - İstanbul Boğazı - Marmara denizi - Çanakkale Boğazı - Akdeniz sisteminde İstanbul Boğazının durumu.
2. Karadeniz sularının bilânçosu (muvazenesi)
3. Karadenizdeki umumî durum.

1. Karadeniz - İstanbul Boğazı - Marmara Denizi - Çanakkale Boğazı - Akdeniz Sistemi:

Boğaz daha geniş coğrafi bir sistemin parçasıdır, ve Boğazdaki her olayın başka kısımlara tesiri olacağı meydandadır.

Evvelce de bahsettiğimiz gibi, Marmaranın üst tabakaları beslediği gibi alt tabakaları da beslenmektedir; yani dinamik muvazeneyi temin

için yüzey tabakaların sularını bir yere boşaltması, dipteki tabakalara da bir yerden yeni su gelmesi gereklidir.

Bu sebepten dolayı, Çanakkale Boğazı bu iki işi de yapmağa muktedir olmalıdır; yani bu boğazın yalnız Marmara sularını boşaltacak bir şekilde değil, Marmaraya su girmesine imkân verecek şekilde olması gereklidir. Eşiklerin hesaba katılması bilhassa dikkat edilecek bir meseledir, onun için bu hakikatleri bir harta üzerinde göstermeyi doğru bulduk. Bu yazıya eklenmiş harta (Pafta VI) Marmara denizinin derinlikleri ile Akdenizin derinlikleri arasında bir oluk olduğunu gösteriyor. Bu oluk üzerindeki en sığ yer Çanakkale boğazının kuzey ağzının kuzey doğusunda 65 metre derinlikte bir noktadır ki bu rakkam, icab eden derinlikten fazladır.

Filhakika, Çanakkale Boğazından Marmaraya doğru bir akıntı bulunduğu Wharton (1886), Makaroff (1885), Magnaghi, (1894), ve teorisine gerekli olduğu için Merz (1928) tarafından söylenmişti. Bu suretle hipotezimiz için coğrafi bir engel bulunmadığını görüyoruz.

2. Karadeniz Sularının Bilânçosu:

Makaroff ve Merz-Möller, Karadenize girip çıkan suların bilânçosunu yapmışlardır. Maateessüf birinci müellifin yaptığı bilânço elimize geçmemiştir, fakat Merz ve Möllerin tahminleri, kitaplarında neşredilmiştir. Onlar saniyede 1-7 metre hızla esen rüzgârlarda Boğaza saniyede 11,050 metre küp su girdiğini ve Karadenize saniyede 6400 metre küp ağır su aktığını düşünerek işe başlamışlardır. Saniyede 3.1 - 4.8 metre hızla esen rüzgârlarda da giriş için 12,660, çıkış için 6140 metre küp farzetmişlerdi. Aynı zamanda onlar, yıllık ortalamaların da yukarıdaki adetlerin arasında bir yerde bulunduğunu iddia ediyorlar.

Binaenaleyh normal hâvalarda, Merz ve Möller, Karadenizden net 4650 - 6520 metre küp su çıktığını kabul etmişlerdir. Bu rakkamları aşağıdaki denklem'e koymuşlardır.

$$N + Z = V + A.$$

Burada N Karadeniz üzerindeki yağışların yıllık tutarını, Z denize nehirlerle getirilen su tutarını, V tabahhur ile Karadenizden kaldırılan suların tutarını, A da Karadenizden dışarı akan suların tutarını temsil etmektedir. Yağışların yıllık tutarı tahmin yoluyla elde edilmiş, yalnız Tuna, Dnieper, Dniester ve Don nehirlerinin getirdikleri su miktarı bilindiği için denize akan suların tutarı için başka tahmini

bir adet kullanılmıştır. Bu şekilde N, Z ve A'nın kıymetleri yerlerine koyulmuş ve bizim nazarıımızda V için de pek doğru olmıyan bir tutar bulunmuştur. V için kıymetler şu şekilde bulunmuştur: Karadenizden çıkan net suyun tutarı (saniyede 4650 metre küp veya yılda 116,6 kilometre küp) kabul edilirse, Karadenizin topladığı yıllık su tutarı $(N+Z)$ 559 kilometre küp suyun 412 kilometre küpünün tabahhur ile kaldırılması lâzım geliyor. Eğer öbür rakam (saniyede 6500 metre küp veya yılda 205 kilometre küp) alınırsa icabeden tabahhur tutarı senede 354 kilometre küp eder. Bu iki tutardan birincisi çok küçük olduğu için mevzuubahs olamaz, ikincisi de her halde esas tutardan 50% fazladır.

Merz-Möller tarafından teklif edilen bu denklemin muvazenesini yapmak için, onların verdikleri net dışarı akış tutarlarından daha büyük bir adet kabul etmek lâzım geliyor. Eğer Merz-Möller, alt akıntının Karadenize çıkmadığını bilseydiler bu tutar tabii yükselecekti.

Biz Merz-Möller gibi Karadenizi ayrı bir şekilde tetkik etmek doğru olmaz fikrindeyiz, çünkü o şekilde hesaplar çok tahminî oluyor. Karadenize suyunu akıtan alanı bir bütün kabul edip, Hazar denizine su akıtan yerlerle mukayese etmeyi doğru bulduk. Bunun kıymetinin sebebi de Hazar denizi havzasında yıllık yağış tutarıyla yıllık tabahhur tutarının eşit olmasıdır.

Bu acıip durumun bize büyük yardımı dokunur. Buradaki tabahhur hakkında iyi bir fikir edinebiliriz. Çünkü yağışlar en sık ölçülen ve en iyi bilinen meteorolojik kıymetlerdir ve bu alanda tabahhurun tutarıyla yağışların tutarının tamamen eşit olduğunu seviyenin değişmemesinden anlıyoruz. Eğer böyle olmasaydı, bu kadar büyük bir alan için doğru tabahhur kayıtları bulunmazdı.

Hazar denizine ait bu bilgileri, bizim ilgimizi çeken Karadenizden Boğaz yoluyla çıkan su tutarıyla bağlamak için Hazar denizine su akıtan havzadaki tabahhurun Karadeniz havzasındaki tabahhura eşit olduğunu farz edeceğiz. Bu ikisini eşit sayarken, Karadeniz havzasındaki tabahhurun Hazar havzasındakinden büyük olmadığını, fakat daha az olduğunu belirten deliller mevcut bulunduğunu da hatırlatmak istiyoruz.

Şimdi her üç tutarı, yani Hazar havzasındaki tabahhuru eşit olarak alırsak, ve Hazar havzasındaki yıllık yağış tutarını Karadeniz havzasının yıllık yağış tutarından çıkarırsak geriye kalan rakam Karadenizdeki fazla su miktarıdır. Bu adedin eşitlik yüzünden cüz'i olacağını ehemmiyetle beyan etmek lâzımdır. Fakat, bugün elde mevcut kayıtlar doğru bir tahmin yapılmasına elverişli değildir.

Karadeniz havzasındaki bu fazla suların Boğazdan dışarı çıktığına şüphe yoktur. Karadeniz ve Hazar denizi havzalarının takribi yüzey ölçümleri 4,000,000 kilometre karedir. Meteorolojik kayıtlar bu iki havza arasındaki yıllık yağış farkının 25 santimetre olduğunu gösteriyor. Eğer iki havza arasındaki 1 santimetre fark, yılda 40,0 kilometre küp fazla su ederse, yıllık fazla su tutarı 1000 kilometre küp olur ki bu da saniyede 33,400 metre küp fazla su demektir. Bu miktar su Boğazda üst akıntının maktatı 32,000 metre kare olan Rumeli Hisarında saniyede 1,0 metre süratle giden bir akıntı meydana getirir.

Bu rakamlar normal hava durumunda alınan sonuçlardan daha büyüktürler, fakat bunların yardımı sayesinde Karadenize bir de alt akıntı ile su girmediğine emin olabiliriz.

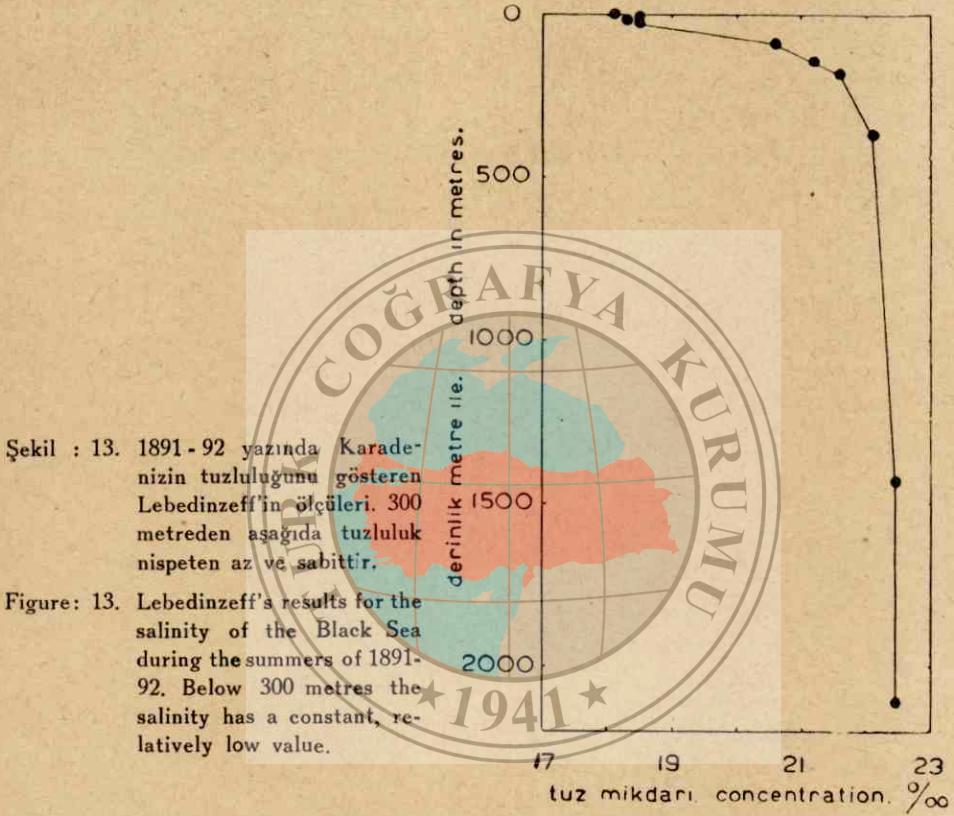
3. Karadenizdeki Umumi Durum:

Merz-Möller teorisinde, Boğazda alt akıntının Karadenize çıktığının iddia edildiğini birçok defalar söyledik. Burada Karadenizin hidrolojik evsafını tetkik ederek buna imkân olmadığını göreceğiz.

Merz ve Möller, Karadenize Boğaz yoluyla gelen suların senelik tutarının 195-205 kilometre küp olduğunu yazıyorlar. Bu münasebetle Karadeniz alanının ikliminin en aşağı 5000 senedir esaslı şekilde değişmediğini hatırlatmak isteriz. Bu hakikatı son buzul devrinin uzuluğunu ve zamanını veren klimatolojik çalışmalardan öğreniyoruz. Boğazda 5000 seneden evvel neler olduğu çok dikkat çekici bir şey ise de burada bizi alâkadar etmez. Bizim için önemli olan hakikat, her sene Karadenize giren 200 km³ suyun 5000 sene içinde 1,000,000 km³ bir yer kaplayacağıdır. Bu hacim Karadenizin hacminden çok büyüktür. Bu şartlar altında Karadenizin derin tabakalarında çok tuzlu (0.60.1000 ünitesinden fazla) su bulmamız icabeder. Karadenizde suların karışmasının 200 metreden aşağıda tesiri olmadığını öğrenirsek (Uilyott ve Ilgaz, 1943, 1) mesele daha önemlenir.

Karadenizdeki araştırmalar, derinlerde böyle çok tuzlu bir su bulunmadığını gösteriyor. (Şekil 13) Lebedinzeff'in sonuçlarından alınmıştır ve 183 metreden derinde tuzlulukta yaklaştırma bir intizam göstermektedir. Bununla beraber bu tuzluluk, yüksek olmayıp binde 21,5 ile 22,5 arasındadır. Krümmel «Karadenizin esas merkezî alanında Wrangell ve Spindler 0 dan 40-45 metre derinliğe kadar inen eş tuzlulukta bir tabaka, sonra derinlikle hafif bir artış 90 metrede binde

19.7, 180 metrede binde 21.4, 350 metrede binde 22.0 tuzluluk bulmuşlardır. 900 metreden 2000 metreye kadar da ikinci bir eştuzluluk (binde 22.4 - 22.5) alanı vardır» diyor. Krümmel binde 38 tuz miktarlı Akdenizin suyunun Karadenizde bulunmasına imkân olmadığını söylüyor ve Karadenizin dibindeki sularla Marmaranın sathındaki sular



arasındaki benzerliğe nazarı dikkati çekiyor. Bizde ileride bu noktayı Dergide aydınlatacağımızı ümit ediyoruz.

Mamafih, eğer Merz-Möller teorisi doğru olsaydı her halde Karadenizde az miktarda olsa bile çok tuzlu su bulunacaktı. Bilhassa Marmara gibi karışması daha ziyade olan bir denizin derinlerinde binde 37-38 tuzlu su bulunduğu nazarı itibara alınırsa bir milyon kilometre küpten fazla olan çok tuzlu suyun girip hiç bir iz bırakmaması inanılacak şey değildir.

Çok tuzlu suların Karadenize olağanüstü hallerde, pek az miktarda girdiğini söyleyebiliriz.

Sonuç :

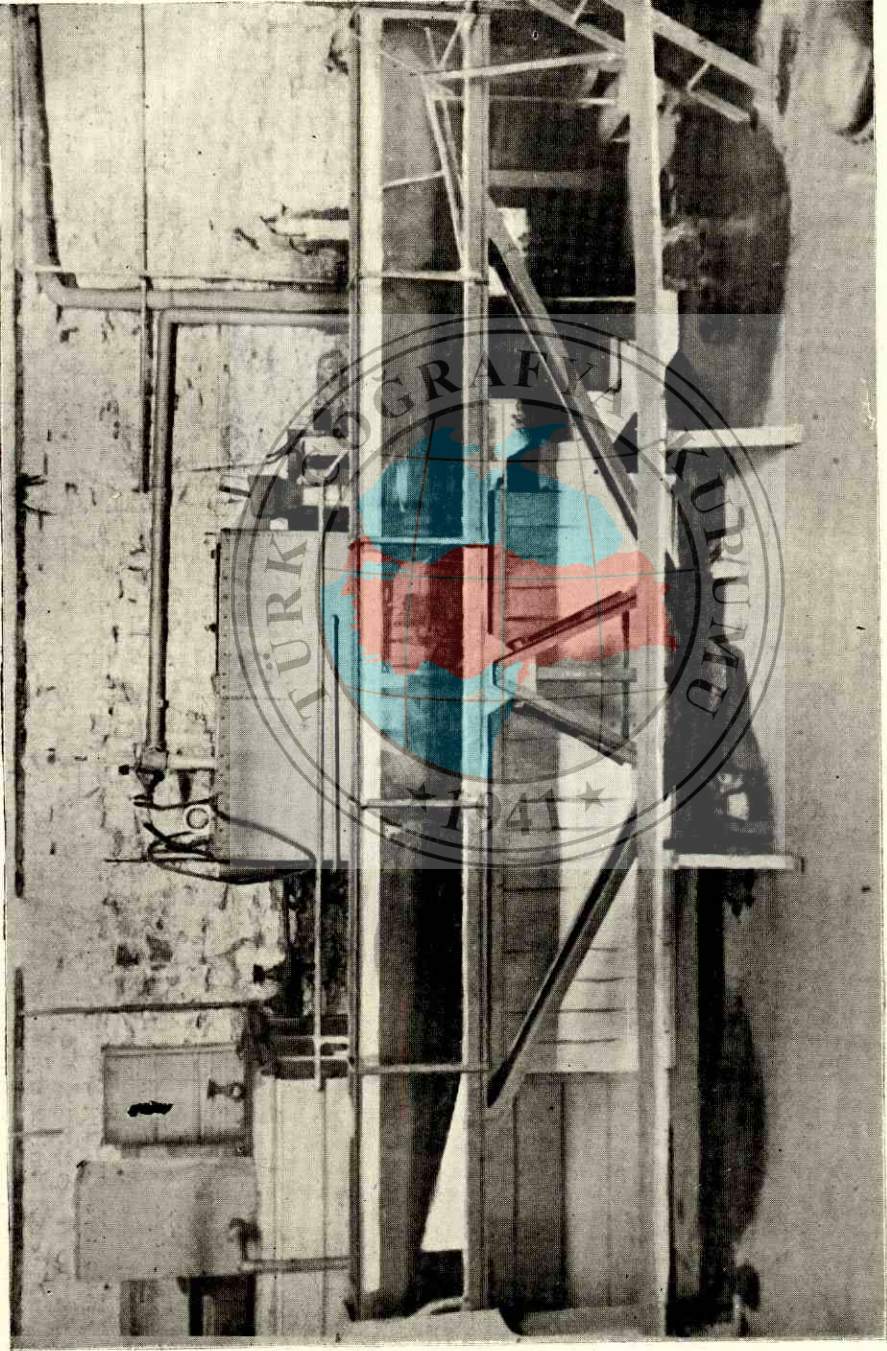
Bu sayıda Boğazdaki su hareketlerine ait yeni bir ipotezi ortaya koyduk ve buna desteklik eden bazı eski ve yeni deliller verdik. Biz suların Marmara denizinin derinlerinden ayrılıp, çok tuzlu alt akıntıyı meydana getirerek kuzeye doğru aktığını, fakat Karadenize varmadan üst akıntıya karışarak tekrar Marmaraya döndüğünü zannediyoruz.

Verdiğimiz deliller şunlardır: Boğazda Reynolds rakamının ve türbülâns mübadele emsalinin belirttiği gibi, *türbülâns* büyüktür. Boğazdan Marmaraya çıkan suların 10 % unun Marmara suyu ve karışmanın fazla olduğunu gösteren bir tuzluluk eğimi vardır. Farzettığımız olayların hidrodinamik imkânı vardır. Bunlar Boğazın bir hidrolik modelinde aranmıştır. Azak denizi hakkında bazı hakikatler oradaki durumun da Boğazdakinin eşi olduğunu belirtiyor. Hem orada alt akıntının yok olmasına müsait derin yerler de yoktur.

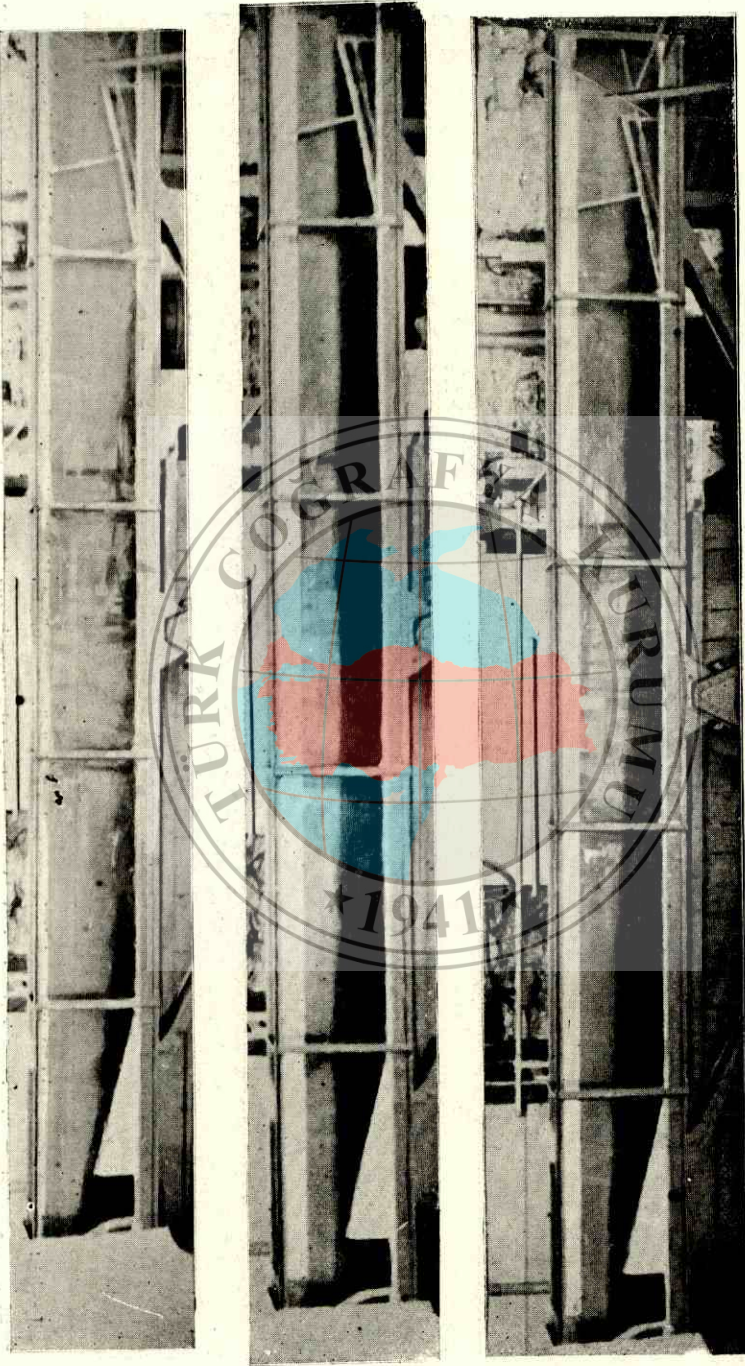
Karadeniz-İstanbul boğazı -Marmara denizi-Çanakkale boğazı-Akdeniz sisteminde, ipotezimize coğrafi veya hidrografik bir engel olmadığını gösterdik. Karadeniz sularının bilânçosu ve derinlerinde çok tuzlu suların bulunmayışı farzettiklerimizin lehindedir.

Mamafih, bu yazının umumî fikirleri ortaya koyan bir iptidai neşriyat olduğunu ehemmiyetle söylemek isteriz. İleride bazı mühim noktaları birer birer ele alarak etraflıca anlatacağımızı ümit ediyoruz. Fakat, şimdilik evvelâ bütünü ortaya koyarak sonra parçaları yerlerine vazetmek daha makul görünüyor.

İpotezimizin doğru veya yanlış olduğunu isbat edecek olan bir seri tecrübe var ki harp durumu dolayısıyla şimdi yapılması mümkün değildir. Bu, stratejik bakımdan çok önemli olan Boğazın kuzey ağzında yapılması icabeden görüş ve ölçülerdir. Mamafih ileride bir gün kuzey eşğine gidilerek meselenin tamamıyla halledileceğini ümit ediyoruz.



Levha : IX. Boğazın hidrolojik modelinin umumi görünüşü. — Robert Kolej Hidrolik Lâboratuvarı. Şekil : 10 a bakınız.
Plate : IX. General view of the hydrological model of the Bosphorus, in the Hydraulics Laboratory of Robert College. For explanation see Figure 10.



1

2

3

Levha : X. Boğazın hidrolojik modeli içinde tecrübe yapılrken çekilmiş üç fotoğraf. Fotoğraflar aşağıdaki durumları temsil etmektedir. (1) Kuzey fırtınası; (2) Güney fırtınası; (3) Normal hava. Şekil : 11 e bakınız.

Plate : X. Three photographs taken during experiments with the hydrological model of the Bosphorus. The photographs represent the following conditions: (1) A northerly storm; (2) A southerly storm; (3) Normal weather. For further explanation see Figure : 11.

BİBLİYOGRAFYA

- Grote, A. (1934)*
Die Binnengewässer, XIV. Das Sauerstoffgehalt der Seen.
Stuttgart, 1934.
- Ilgaz, O. (1944)*
Karadenizden İstanbul Boğazına giren suları ilgilendiren bazı notlar.
Türk Coğrafya Dergisi, VI. Ankara.
- Kendrew, W. G. (1927)*
The Climates of the Continents.
Oxford, 1927.
- Krümmel, O. (1907)*
Handbuch der Ozeanographie.
Stuttgart, 1907.
- Lebedinzev, A. (1905)*
Gaseous exchange in ill ventilated waters.
Proc. Imp. Russ. Fish. Lab. Nikolskoje, 1905.
- Magnaghi, G. B. (1907)*
Di alcune esperienze eseguite negli Stretti dei Dardanelli e del Bosforo per misurarvi le corrente a varie profondità.
Atti Prim. Congr. Geogr. Ital. I Genoa.
- Makarov, S. (1885)*
On the water exchange between the Black Sea and the Mediterranean Sea.
Proc. Imp. Acad. Sci. Petersburg, LI. Leningrad, 1885.
- Merz, A. (1928)*
Hydrographische Untersuchungen in Bosphorus und Dardanellen. (Bearbeitet von Lofte Möller).
Veröff. Inst. Meereskde. XVIII Berlin.
- Philippon, A. (1904)*
Das Mittelmeergebiet.
Leipzig, 1904.
- Reynolds, O. (1883)*
An experimental Investigation of the Circumstances which Determine whether the Motion of Water Shall be Direct or Sinuous, and of the Law of Resistance in Parallel Channels.
Phil. Trans. Roy. Soc. CLXXIV. London, 1883.
- Schmidt, W. (1925)*
Über die Temperatur- und Stabilitätsverhältnisse in Seen.
Geografiska Annaler. Stokholm, 1928.

Stefan, H. (1873)

Diffusion und ähnliche Erscheinungen.

Sitzb. Akad. Wiss. Wien, 1875.

Ullyott, P., & O. Ilgaz. (1942)

Bahri ve yarabahri şartlar altında tabii suların kondüktivitesini ölçmeğe mahsus alet ve metotlar.

İst. Üniv. Fen. Fak. Mecmuası, A. VII
İstanbul, 1942..

Ullyott, P., & O. Ilgaz. (1942)

İstanbul Boğazında Araştırmalar. I. Karadeniz Boğazının Coğrafi ve hidrolojik durumunun incelenmesi.

Türk Coğrafya Dergisi, II. Ankara, 1943.

Ullyott, P., & O. Ilgaz. (1942)

Boğazda İncelemeler. I. Sene içindeki standard - durumun tariflemesi.

İst. Üniv. Fen Fak. Mecmuası, B. VIII
İstanbul, 1943.

Weickmann, L. (1922)

Luftdruck und Winde im östlichen Mittelmeergebiet.

München, 1922.

Wharton, W. J. L. (1886)

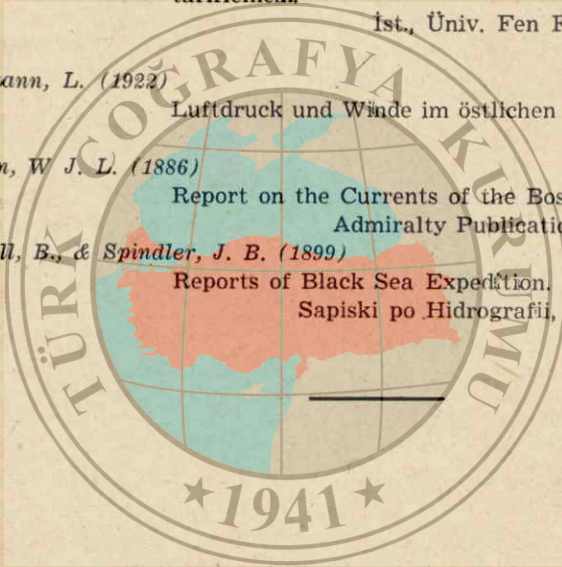
Report on the Currents of the Bosphorus and Dardanelles.
Admiralty Publication.

London, 1886.

Wrangell, B., & Spindler, J. B. (1899)

Reports of Black Sea Expedition.

Sapiski po Hidrografii, XX. Leningrad, 1899.



RESEARCHES ON THE BOSPHORUS. II. A NEW HYPOTHESIS
CONCERNING THE WATER MOVEMENTS IN THE
BOSPHORUS CHANNEL.

by

Philip ULLYOTT and Orhan ILGAZ. (Robert College, İstanbul)

In the past, the ideas of Merz and Möller (1928) about the water movements in the Bosphorus, were accepted as standard. However, on account of certain deficiencies in their theory, we here present an alternative hypothesis, which, we believe, fits the facts better. A summary in English of the Merz-Möller theory can be found in Ulyott and Ilgaz (1943. 1).

The evidence for our hypothesis is taken from our own investigations, comprising some 2000 individual observations of temperature and salinity throughout the year, and partly from the results of older workers, including Merz himself. We wish to emphasise that we do not doubt the accuracy of Merz' actual measurements, but we question the conclusions he and Möller have drawn from them. The importance of the design of the apparatus, and the time-spacing of observations only lends emphasis to the fact that any hypothesis about the water movements in the Bosphorus, must fit in with all the known geographical and climatic facts concerning the Black Sea - Bosphorus - Sea of Marmara - Dardanelles - Mediterranean Sea system, of which the Bosphorus forms a part.

Before our hypothesis can be stated, a brief account of the effect of changing meteorological conditions on the water movements must be given.

Northern storms of great severity and duration sweep out all the heavy salty water from the deeper parts of the Bosphorus, so that the whole channel is filled with water from the Black Sea. When this occurs in winter, certain species of fish which cannot stand the sudden change, are killed. This is known in Turkish as «balık kırımı» - the breaking, of the fish. Details about occurrence in summer are given in Ilgaz (1944).

Southern storms of great violence and duration cause a general northward movement of the waters, known locally as orkoz, during which no water enters the Bosphorus from the Black Sea.

Normal weather, defined by a northerly wind of 2-9 metres per second velocity, results in a delicate balance between entry of water from the Black Sea and entry of water from the deep layers of the Sea of Marmara. The result is that there is an upper current in the Bosphorus from the Black Sea to the Sea of Marmara, and a lower layer of sea-

vier, saltier water, moving towards the Black Sea. The depth of the division between the upper and lower waters, as indicated by the 27 pro mil salinity level, is different at different points along the length of the Bosphorus. There is thus a salinity slope downwards towards the north (Figure 9). From the point of view of our hypothesis, the important feature is that the northern end of the 27 % salinity slope strikes the northern Bosphorus threshold some metres below its apex, thus showing that, under normal weather conditions, no highly saline water enters the Black Sea.

This last fact is in direct contradiction to the Merz - Möller theory, and brings us to the point at which we can state our own hypothesis, which is as follows: —

Water leaves the deeper, highly saline layers of the Sea of Marmara, and starts flowing northward as the deep current, locally called the kanal. Overlying it, is the southward flowing turbulent stream from the Black Sea. On account of the turbulent character of the upper current, water from the lower current becomes mixed with it, and thus gets carried back to the Sea of Marmara. At the same time, on account of the mixing, the volume of the deep northward flowing current becomes reduced in volume as it moves along. So more water leaves the deep layers of the Sea of Marmara to replenish what has been lost by mixing. In this way a state of dynamic equilibrium is maintained, of which the salinity slope is an expression.

The evidences in favour of our hypothesis are as follows: — *Turbulence in the upper current of the Bosphorus is great.* An attempt has been made to apply engineering methods to the Bosphorus, and a provisional value for Reynolds' Number of 300,000 has been found as a minimum. The turbulent exchange coefficient has a value of between 150 - 250, which shows that transport due to turbulence in the Bosphorus must be about the same as that in the open ocean moving with a velocity of 7 metres per second. These figures show that turbulence in the Bosphorus is high.

The salinity gradient in the surface waters of the Bosphorus from the Black Sea to the Sea of Marmara, shows that a great deal of mixing must occur on the way. Although the changeability of the weather makes quantitative treatment difficult, it is possible to state that, under normal weather conditions, about 10 % of the water which enters the Sea of Marmara from the north, originally came from the deep layers of the Sea of Marmara itself. Thus, a quantity of water about one tenth the inflow from the north must continually be leaving the deep layers of the Sea of Marmara. In this way the flow of the lower current is accounted for without the necessity of postulating its outflow to the Black Sea.

A hydraulic model of the Bosphorus has shown conclusively that what we postulate is a hydrodynamic possibility. In the model set up in the Hydraulics Laboratory of Robert College, it was possible to reproduce all the characteristics of normal weather conditions including the dynamically maintained salinity slope. The figures (Figures 10 and 11) and the photographs (Plates IX and X) included in the Turkish text show the experimental arrangement and results. We wish to thank Dean J. C. Bliss for his kindness and for his help.

The conditions in the Sea of Azov again bear on our views. In the Straits of Kertch there is an upper and a lower current, in much the same way as in the Bosphorus. However, in the Sea of Azov there is no possibility of the lower current losing itself in the depths of a large sea or ocean, because the maximum depth of the Sea of Azov is 13 metres. The inflowing lower current becomes mixed with the water from the rivers - chiefly the Don - and then comes out again as the upper current. This shows that the Bosphorus is only a particular case of a general phenomenon, which occurs whenever two seas are connected, and a density difference between them is maintained by suitable inflow. The peculiarity about the Bosphorus is the presence of the northern threshold, which prevents the lower current from reaching the sea of less density, so that the mixing occurs within the channel itself.

There are certain conditions demanded by our hypothesis, and, if these conditions were not fulfilled, the hypothesis itself must remain very doubtful.

The Bosphorus is only a part of the Black Sea - Bosphorus - Sea of Marmara - Dardanelles - Mediterranean Sea system, and the conditions in the system should allow for free passage of water from the upper layers of the Sea of Marmara to the Mediterranean Sea, and for the free entry of deep, highly saline water from the Mediterranean Sea to the Sea of Marmara. These conditions are, in fact, fulfilled, since there is no place in the Dardanelles or surrounding regions with a maximum depth of less than 60 metres. The hydrographic chart (Plate VI) shows the depths in the Bosphorus - Dardanelles system, compiled from the best available sources (British Admiralty charts, corrected to 1937).

The Bosphorus is the only outlet from the whole Black Sea drainage area, and the net outflow through the channel therefore must represent the algebraic sum of other gains and losses in the area. Merz and Möller, who considered the Black Sea alone, made a balance sheet by equating rainfall on to the Sea plus inflow from rivers, with loss due to evaporation over the Sea plus net outflow through the Bosphorus channel. This last quantity involved two elements, an upper current outflow of 390 cubic kilometres per year, and a lower current inflow of 200 cubic kilometres per year, giving a net outflow of 190 cubic kilometres per year. In order to balance the gains and losses in the Black Sea, Merz and Möller had to postulate an excessively high figure for evaporation. In any case, their estimates of rainfall over the sea, and of inflow from rivers, should be taken with reserve. We prefer to consider the Black Sea drainage area as a whole, in which case a valuable comparison can be made with the Caspian drainage area. In the Caspian drainage area, which is almost exactly the same size as the Black Sea drainage area, and which lies within approximately the same parallels of latitude, total evaporation exactly balances total precipitation, since the level of the Caspian Sea does not change, and there is no outflow. If we now equate evaporation from the Caspian drainage area and evaporation from the Black Sea drainage area we can say that the total excess of precipitation in the Black Sea area over precipitation in the Caspian area, will be numerically equal to the net gain of water in the Black Sea area and therefore must be equal to the outflow from that area. The figure thus obtained will be a minimum figure because, in all probability the evaporation from the Caspian area is greater than that of the Black

Sea area, and should therefore represent a minimum value for outflow from the Bosphorus. Figures show that a 25 cms. rainfall difference between the Caspian and Black Sea areas, would give a yearly output from the Black Sea of 1050 cubic kilometres. This corresponds to a velocity of the upper current at Rumeli Hisar of 1.0 metres per second, a value slightly in excess of that observed there under normal weather conditions. There seems to be no room for an input into the Black Sea by way of the lower Bosphorus current, as far as can be judged from these preliminary figures.

The conditions in the depths of the Black Sea give definite support to our hypothesis. According to the Merz-Möller theory, the average value for input into the Black Sea from the lower Bosphorus current is 200 cubic kilometres per year. There is evidence that the climate has not changed materially for the last 5000 years, so that at least 1,000,000 cubic kilometres of highly saline water should have poured into the Black Sea, according to their view. In this case, the depths of the Black Sea should have a high salinity, corresponding to the salinity at the bottom of the Sea of Marmara, into which highly saline water is known to flow. In actual fact, research has shown that the salinity at the bottom of the Black Sea is not high, but has a value of 22.5%, even at depths greater than 2000 metres (Lebedinzeff, 1891). This shows that there is water of only very moderate salinity at the bottom of the Black Sea, which entirely fits in with our hypothesis, indicating as it does that there is no lower current of highly saline water flowing in from the Bosphorus.

The statement of the new hypothesis and the review of facts which is given above, will, we hope, lead to a better understanding of the true state of affairs in the Bosphorus. At the same time, this paper should be regarded only as a preliminary sketch, parts of which may have to be altered in view of later discoveries, and nearly all of which needs a great deal of filling in as regards detail. We hope to do this in further numbers of this series of communications.

★1941★